

새로운 생명공학작물 안전성 평가를 위한 작물 성분 DB 구축

김은하 · 이성곤 · 박수윤 · 이상구 · 오선우

Development of the conventional crop composition database for new genetically engineered crop safety assessment

Eun-Ha Kim · Seong-Kon Lee · Soo-Yun Park · Sang-Gu Lee · Seon-Woo Oh

Received: 27 November 2018 / Revised: 3 December 2018 / Accepted: 3 December 2018
© Korean Society for Plant Biotechnology

Abstract The Biosafety Division of the National Academy of Agricultural Science has developed a ‘Crop Composition DB’ that provides analytical data on commercialized crops. It can be used as a reference in the ‘Comparative Evaluation by Compositional Analysis’ for the safety assessment of genetically modified (GM) crops. This database provides the composition of crops cultivated in Korea, and thus upgrades the data to check the extent of changes in the compositional content depending on the cultivated area, varieties and year. The database is a compilation of data on the antioxidant, nutrient and secondary metabolite compositions of rice and capsicum grown in two or more cultivation areas for a period of more than two years. Data analysis was conducted under the guidelines of the Association of Official Analytical Chemists or methods previously reported on papers. The data was provided as average, minimum and maximum values to assess whether the statistical differences between the GM crops and comparative non-GM crops fall within the biological differences or tolerances of the existing commercial crops. The Crop Composition DB is an open-access source and is easy to access based on the query selected by the user. Moreover, functional ingredients of colored crops, such as potatoes, sweet potatoes and cauliflowers, were provided so that food information can be used and utilized by general consumers. This paper introduces the feature and usage of ‘Crop Composition DB’, which is a valuable tool for

characterizing the composition of conventional crops.

Keywords Crop composition data, Nutrients, Antinutrient, Rice, Capsicum

서 언

농업생명공학 기술은 농업 관행에 따른 환경오염 감소와 인구 증가에 따른 식량자원보급 및 영양학적 불균형의 해소와 농민들의 사회 경제적 상황의 향상 등에 대한 가능성을 열어 주는 지속적인 발전이 가능한 강력한 도구이다(Ridley et al. 2004). 생명공학 작물(Genetically Modified Crops, GMCs 또는 biotech crops)은 1994년 FlavrSavr 토마토로 처음으로 상업적으로 이용되기 시작하여 1995년-1996년 제초제 내성 및 해충 저항성 대두 및 옥수수 제품이 도입되었다. 이 후로 GM작물에 대한 수요가 증가하면서 GM작물의 재배를 승인하는 국가와 재배 승인되는 작물의 종류가 증가하였다(Aldemita 2015). 결과적으로 1996년 170만 ha였던 재배면적이 2017년 1억 8980만 ha로 약 112배 증가하였으며(ISAAA 2017), 2017년까지 가장 많이 재배된 GM작물은 대두, 옥수수, 면화, 카놀라, 알파 파이며 이외에 사탕무, 파파야, 감자 등이 재배되었다(ISAAA 2017). 지금까지 주로 제초제 내성 및 해충저항성 특성을 가진 작물이 주로 개발되었으며, 최근에는 영양조성이나 기능적 특성이 개선된 작물 개발이 점차 증가하고 있다(Dunwell 2014). 지방산 조성을 조절하여 식품 공정이나 사람 및 동물의 건강에 도움이 되도록 한 대두 및 캐놀라가 있으며, 영양 결핍을 극복할 수 있도록 비타민A 전구체를 생산하는 벼인 ‘Golden Rice’ (Ye et al. 2008; Paine et al. 2005)와 철분을 강화한 GM벼(Lee et al. 2009; Johnson et al. 2011)가 있다. 그리고 항체나 특정 아미노산, 단백질을 과발현하여 생산할 수 있는 식

E.-H. Kim · S. K. Lee · S.-Y. Park · S Lee · S.-W. Oh (✉)
국립농업과학원 생물안전성과
(National Institute of Agricultural Science, Rural Development
Administration, 54874, 370, Nongsaengmyeong-ro, Wansan-gu,
Jeonju-si, Jeollabuk-do, Republic of Korea)
e-mail: ohsw0507@korea.kr

물공장으로의 GM작물이 실용화되고 있다(Sabalza et al. 2012; Zhang et al. 2012).

형질전환으로 개발된 GM작물들은 상업화되기 전에 환경 및 인체에 대한 영향을 엄격하게 평가받는 심사절차 과정을 거친다. 안전성 평가의 원칙은 OECD (Organization for Economic Cooperation and Development)에서 처음 제출되었으며(1993), 이 내용은 2003년 국제식량농업기구(FAO)/세계보건기구(WHO)가 설립한 식품규격위원회(Codex)가 제안한 가이드라인을 따르고 있다. GM작물의 안전성 평가방법은 ‘실질적 동등성(substantial equivalence)’ 개념을 근거로 평가되고 있으며(Codex Alimentarius 2003a; 2003b), 이는 GM작물을 기존에 안전하게 사용되어 온 부모계 또는 근동질유전계와 같은 대응작물(Non-GM comparator)과 전통적으로 재배되어 온 상용 품종과 비교하는 것이다(Kok and Kuiper 2003). 실질적 동등성에 의한 안전성 평가는 절대적 안전성을 의미하는 것은 아니지만 현재로서는 가장 합리적인 접근 방법으로 인정되고 있다. 평가항목으로는 도입된 유전자의 안전성과 이로부터 생산되는 단백질과 대사물질의 안전성, 표현형 및 농업 형질, 성분 분석, 알레르기, 독성, GM작물 재배의 환경 위해성 등이 있다. 성분분석 비교법은 외부 유전자의 도입과정 또는 형질전환 산물에 의한 대사과정의 변경을 통하여 비의도적으로 구성 성분에 변화를 일으켜 상업 작물과 비교하였을 때 잠재적 위해성을 일으킬 수 있다는 가능성으로 시작되었으며, 이후 안전성 평가 과정에서 중요한 토대가 되었다(Burne 2013; Herman and Price 2013).

본 논문은 생명공학 작물 안전성 평가 과정에서 성분분석 비교법에 대하여 알아보고, 이에 기존 상업작물 품종의 자연변이 평가의 근거 자료로 사용될 수 있는 성분분석 자료 확보 및 작물성분 데이터베이스(DB) 구축의 중요성을 강조, 이를 뒷받침하고자 해외의 DB 구축과 활용에 대해 조사하였다. 그리고 우리나라에서 GM작물의 안전성 평가에 활용될 수 있도록 2015년부터 농촌진흥청 국립농업과학원에서 개발한 벼와 고추 등 주요 작물들의 상업화된 품종 성분 DB를 소개하였다. 농촌진흥청 「작물성분 DB」 구성과 현재 정보가 제공되고 있는 작물성분 내용 및 DB사용법을 안내하고, 향후 DB 활용의 중요성을 제시하였다.

생명공학 작물의 안전성 평가를 위한 기존 상업작물 DB 개발의 필요성

주요성분 비교평가는 작물의 영양 조성에서 GM작물과 대응작물의 실질적 동등성을 가장 빠르고 정확하게, 직접적으로 비교평가하는 항목이다. OECD는 GM작물 안전성 평가에 필요한 분석기준을 정립하고 18개 작물별 분석 성분의 종류와 함량 범위에 대한 국제적인 합의문을 발간하였다. 주요성분 분석은 주요 생화학적 구성 요소의 정량적 측정에 초

점이 맞춰져 있으며(OECD 2012; 2016), 이러한 구성 요소로는 지질과 단백질, 회분, 탄수화물, 섬유질로 구성된 일반성분과 아미노산, 지방산, 비타민, 미네랄과 같은 주요영양성분과 작물 특이적인 항영양소와 이차대사산물로서 표적성분에 대한 비교평가이다. 성분비교에 대한 요구 조건은 각 규제당국마다 차이가 있지만, 재배 년 수 및 재배 지역 수, 합당한 비교군, 분석 신뢰성, 통계분석, 그리고 일반재배 작물의 참고범위 정보를 제공하는 것이 일반적이다. 참고자료에 대한 정보는 주로 국제생명과학연구회(International Life Science Institute, ILSI) 작물성분 데이터 또는 전문저널지에 발표된 데이터로 제공할 수 있다. 특히 유럽식품안전청(European Food Safety Authority, EFSA)은 GM작물의 안전성 평가를 위하여 작물의 재배 방법과 재료의 수확, 비교 상업작물의 선정 조건, 통계분석 방법 등에 대한 구체적인 가이드라인을 제시하고 있다(EFSA 2010; 2011a; 2011b; 2011c).

성분 분석 비교법은 GM작물과 대응작물에 존재하는 성분을 비교하는 것으로, 두 작물에 함유된 어떤 성분이 통계학적으로 유의미한 차이가 없다면 GM작물에서 도입된 형질이 비의도적으로 의미 있는 영향을 미치지 않았다고 평가되며, 차후 그 성분에 대한 안전성 평가를 진행하지 않는다. 그러나 통계학적으로 유의미한 차이가 있다면, 두 작물간의 성분 차이가 작물 품종에서 발견되는 자연변이 범위 내에 속해있는지 평가한다. GM작물의 안전성 평가를 위한 기존 상업작물들의 성분데이터는 상업작물들을 GM작물, 대응작물과 함께 재배하여 분석하거나, 발표되어 있는 문헌의 자료나 데이터베이스를 이용한다. 따라서 GM작물의 성분이 상업작물의 자연 변이에 속하는지 비교하기 위하여 포괄적인 최신 성분데이터가 필요하다. OECD는 콩, 옥수수, 케놀라 등 작물의 구성성분에 관한 기존 데이터를 요약한 일련의 합의문서(Consensus Documents) 시리즈를 발행하였는데, 제공되어 있는 성분이 제한적이며 현재 데이터를 반영하도록 쉽게 업데이트되지 않는 단점이 있다. 따라서 주요 상업작물의 상업작물들에 대한 성분분석 데이터베이스 구축 필요성이 제기되었다.

해외 작물 DB 현황

국제적으로 사용되고 있는 성분 DB로는 USDA, FAO, ILSI 등의 DB로써, FAO의 INFOODS(International Network of Food Data System), USDA 산하 NDL(Nutrient Data Laboratory) 및 National Nutrient Database, 캐나다의 Canadian Nutrient File(CF) 등이 있다. 이 중에서 GM작물의 안전성 평가에서 상업작물의 자연변이로 인한 데이터 범주로 주로 사용되는 ILSI 작물 성분 DB(ILSI-CCDB, ILSI Crop Composition Database)에 대해서 구체적으로 살펴보았다.

ILSI는 GM작물의 안전성 평가에서 환경 변이에 따른 작물성분의 변화를 이해하기 위하여 작물성분데이터를 공유

하기로 합의한 6개의 농업생명공학 회사 대표들과 함께 작물성분 DB를 구축하기 시작하였다. 기존 상업작물 성분데이터를 수집하기 시작하여 2003년 작물성분 DB 버전 1.0 (www.cropcomposition.org)을 공개하여 전 세계의 연구 및 평가기관 연구자들이 쉽게 이용할 수 있도록 하였다. DB버전 1.0은 6년 동안 북미와 남미, 유럽연합의 여러 지역에서 재배된 옥수수 및 대두 시료에 대하여 공인된 분석 방법을 사용하여 분석한 일반성분과 영양분, 항영양소 및 2차대사산물에 대한 데이터를 사용자가 선택한 쿼리를 기반으로 검색하고 다운로드할 수 있다. 이후 데이터 및 기능을 개선한 여러 버전의 업데이트가 이루어졌으며, 2016년에 최신 버전 6.0이 발표되었다. 버전 6.0에는 기존 옥수수와 대두에 대한 데이터 추가와 카놀라와 면화, 쌀, 감자, 사탕수수의 성분데이터가 추가되었으며, 보안이 강화되고, 단위 변환과 출력 옵션 등 가용성 및 확장성 측면이 향상되었다(Alba et al. 2010; Sult et al. 2016).

농촌진흥청 국립농업과학원 「작물성분 DB」 구축과 이용

국내 상업작물 성분 DB 구축의 필요성

ILSI-CCDB는 전 세계의 연구 및 규제 과학자가 사용할 수 있는 빅데이터 정보 자원이다. 그러나 작물성분은 품종 및 수확 후 저장 조건을 포함한 재배 환경과 같은 다양한 요인에 의해 크게 영향을 받기 때문에(Yang et al. 2001; Reynolds et al. 2005; Harrigan et al. 2010; Privalle 2013; Oh et al. 2018), ILSI-CCDB와 OECD 문헌은 우리나라에서의 GM작물 안전성 평가에 참고자료가 될 수 있지만, 직접적인 비교 자료로 쓰일 수 없다. 따라서 우리나라에서 전통적으로 재배하여 식용으로 사용되어 온 안전성이 보장되어 있는 작물품종들에 대한 지역별, 연차별 작물성분데이터가 필요하다. 국내 상업작물 품종들에 대한 성분분석 데이터에 대한 논문들이 일부 발표되어 있지만, 성분 프로파일링이 아니므로 안전성 평가를 위한 자료로 활용하는데 한계가 있다. 벼의 경우, 쌀 품종별 영양성분과 항영양인자 등을 연구한 논문들이 발표

되었다(Lee et al. 1988; Choe et al. 2002; Kim et al. 2004; Kyoum et al. 2006). 고추에 대해서는 품종별 파이토케미컬 분석, 재배지역에 따른 캡사이시노이드 함량, 품종별 재배년도와 재배지역별 캡사이시노이드와 유리당의 함량 특성 등에 대한 논문이 있다(Lee et al. 2013; Huang et al. 2014; Hwang et al. 2014). 그러나 논문에서 발표된 성분분석 항목들은 안전성 평가에서 OECD에서 제안한 과학적 근거로 사용할 수 있는 성분 항목들에 대하여는 매우 제한적이다. 따라서 국립농업과학원 생물안전성과에서는 GM작물의 안전성 평가를 위해 벼와 고추 등의 주요 작물들의 상업품종들을 여러 지역의 포장에서 2년 이상 재배하여 성분 분석할 시료를 수확·저장 후 분석 전문실험실에서 검증된 방법으로 분석한 데이터를 제공하는 「작물성분 DB」를 구축하였다.

작물 시료 준비와 분석 방법

현재 「작물성분 DB」에 제공되고 있는 작물들에 대한 정보를 Table 1과 Table 2에 요약하였다. 벼의 경우 2012년부터 2015년까지 자포니카 여러 품종을 수원과 군위, 전주, 천안 지역에서 포장 재배하여 수확, 건조 후 현미로 도정하여 쌀가루로 만든 후 바로 분석하거나 분석할 때까지 -70°C 냉동고에서 보관하였다. 벼 줄기는 사료용으로 사용되기 때문에 벼 줄기에서 영양성분을 분석하였다(2015년). 2014년과 2015년에는 자포니카 품종과 더불어 인디카와 통일계 품종을 재배 수확하여 현미로 가공한 후 성분을 분석하였다. 고추는 2016년과 2017년에 10가지 품종을 전북 임실과 경북 영양 지역에서 재배 건조한 후 저온에서 보관·분쇄한 후 분석할 때까지 -70°C 냉동 보관하여 분석하였다. 콜리플라워와 고구마, 감자는 색이 다른 여러 품종들을 각각 2012년 대전과 2013년 무안, 2015년 평창에서 재배하여 수확 후 분석하였다.

신뢰할 수 있는 데이터를 얻기 위하여 성분 분석은 AOAC, 식품공전, SCI급 논문에 발표된 검증된 방법들을 사용하여 실용화재단의 전문 분석실과 국립농업과학원 생물안전성과에서 진행되었다. 지금까지 벼, 고추, 고구마, 감자, 콜리플라워에 대한 성분함량 정보가 DB에 수록되었으며, 각각의

Table 1 Location, year of field trials and rice varieties in Crop Composition DB

Cultivation year		2012	2013	2014	2015
Cultivation location		Suwon, Gunwi	Suwon	Suwon	Jeonju, Cheonan
Sample tissue		Grain	Grain	Grain	Grain, Straw
Rice type and cultivars	Japonica	GAM, ND, DJ, SDJ, IM, IP, CN, CC	KO, ND, NP, DA, SK, SHC, SB, AM, YA, OD, UK, CB, HAM, HS, HY	KO, ND, NP, DA, SK, SHC, SB, AM, YA, OD, UK, CB, HAM, HS, HY	KO, ND, NP, DA, SK, SHC, SB, AM, YA, OD, UK, CB, HAM, HS, HY
	Indica	-	-	IR50, IR64, IR72, IR102	IR50, IR64, IR72, IR102
	Tongil	-	-	DS, AD, KS, HA	DS, AD, KS, HA

Table 2 Location, year of field trials and varieties of capsicum, cauliflower, sweet potato and potato in Crop Composition DB

Crops	Cultivation year	Cultivation location	Sample tissue	Cultivars
Capsicum	2016, 2017	Imsil, Youngyang	Fruits	BS, MC, HB, KKH, JJS, ASJ, PRJD, PRBB, PRSU, PRKS, PREV, MM
Cauliflower	2012	Daejeon	Flower	Whiee Sails, Orbit, Cheddar, Craffiti
Sweetpotato	2013	Muan	Root	YM, JHM, SJM
Potato	2015	Pyeongchang	Tube	DS, HR, HY, JY

분석 항목들과 측정 단위는 Table 3과 같다. 「작물성분 DB」의 데이터 업로드는, 반복 분석한 데이터를 모두 업로드 하는 형식으로 제출되며, 데이터 출력시에는 평균값으로 생성 되도록 하였다. 데이터 업로드 프로세스를 신속하고 정확하게 수행하기 위해 데이터 제출 형식이 표준화되었으며 수집된 데이터는 심포로 구분된 파일(.xls) 형식으로 제출되도록 하였다.

「작물성분 DB」 이용 방법

국립농업과학기술원 웹사이트(<http://www.naas.go.kr>)의 왼쪽 하단에 있는 ‘농림축산업용GMO’를 클릭하면 GMO정보에 대한 화면이 나타난다. 왼쪽의 ‘농림축산업용 GMO’ 하위에 GMO정보, GMO안전성평가, GMO성분데이터베이스, 위해성심사현황, 실험승인현황, 평가기관승인현황 등을 클릭하여 자세한 내용을 볼 수 있다. ‘GMO성분데이터베이스’를 클

Table 3 Analyte Categories and Analytes for Crop Composition DB

Analyte category	Analyte	Units	Crop types
Proximate	Carbohydrate (calculated)	% DW	Rice, capsicum
	Crude fiber	% DW	Rice, capsicum
	Starch	% DW	Rice, capsicum
	Soluble dietary fiber	% DW	Rice, capsicum
	Insoluble dietary fiber	% DW	Rice, capsicum
	Total dietary fiber	% DW	Rice, capsicum
	Moisture	% DW	Rice, capsicum
	Crude ash	% DW	Rice, capsicum
	Crude protein	% DW	Rice, capsicum
	Crude fat	% DW	Rice, capsicum
Amino acid	Cysteine	% DW	Rice, capsicum
	Glutamic acid	% DW	Rice, capsicum
	Glycine	% DW	Rice, capsicum
	Histidine	% DW	Rice, capsicum
	Isoleucine	% DW	Rice, capsicum
	Leucine	% DW	Rice, capsicum
	Lysine	% DW	Rice, capsicum
	Methionine	% DW	Rice, capsicum
	Phenylalanine	% DW	Rice, capsicum
	Proline	% DW	Rice, capsicum
	Serine	% DW	Rice, capsicum
	Threonine	% DW	Rice, capsicum
Tryptophan	% DW	Rice, capsicum	
Tyrosine	% DW	Rice, capsicum	
Fatty acid	Myristic acid (14:0)	% total FA	Rice, capsicum

Table 3 Analyte Categories and Analytes for Crop Composition DB (Continued)

Analyte category	Analyte	Units	Crop types
	Palmitic acid (16:0)	% total FA	Rice, capsicum
	Stearic acid (18:0)	% total FA	Rice, capsicum
	Oleic acid (18:1)	% total FA	Rice, capsicum
	Arachidonic acid (20:0)	% total FA	Rice, capsicum
	Eicosenoic acid (20:1)	% total FA	Rice, capsicum
	Linolenic acid (18:3)	% total FA	Rice, capsicum
	Linoleic acid (18:2)	% total FA	Rice, capsicum
Mineral	Magnesium	mg/g DW	Rice, capsicum
	Phosphorus	mg/g DW	Rice, capsicum
	Potassium	mg/g DW	Rice, capsicum
	Sulfur	mg/g DW	Rice, capsicum
	Copper	μg/g DW	Rice, capsicum
	Iron	μg/g DW	Rice, capsicum
	Manganese	μg/g DW	Rice, capsicum
	Sodium	μg/g DW	Rice, capsicum
	Calcium	mg/g DW	Rice, capsicum
	Zinc	μg/g DW	Rice, capsicum
Vitamin	Vitamin B3	μg/g DW	Rice, capsicum
	Vitamin B7	μg/g DW	Rice, capsicum
	alpha-Tocopherol	μg/g DW	Rice, capsicum, potato
	Vitamin B1	μg/g DW	Rice, capsicum
	Vitamin B2	μg/g DW	Rice, capsicum
	Retinol	μg/g DW	Capsicum
	Vitamin B5	μg/g DW	Capsicum
	Vitamin B6	μg/g DW	Capsicum
	Vitamin B9	μg/g DW	Capsicum
	Vitamin B12	μg/g DW	Capsicum
	Vitamin C	μg/g DW	Capsicum
Antinutrient	Phytic acid	%	Rice
	Trypsin inhibitor	TIU/mg	Rice
Phenolic	Syringate	μg/g DW	Rice, cauliflower, sweetpotato
	Vanillate	μg/g DW	Rice, cauliflower, sweetpotato
	para-Coumarate	μg/g DW	Rice, cauliflower, sweetpotato
	Ferulate	μg/g DW	Rice, cauliflower, sweetpotato
	Sinapate	μg/g DW	Rice, cauliflower, sweetpotato
	para-Hydroxybenzoate	μg/g DW	Rice, cauliflower, sweetpotato
Carotenoid	Lutein	μg/g DW	Cauliflower, sweetpotato
	α-carotene	μg/g DW	Cauliflower, sweetpotato, capsicum
	β-carotene	μg/g DW	Cauliflower, sweetpotato, capsicum, potato
	Zeaxanthin	μg/g DW	Cauliflower, sweetpotato, capsicum, potato
	Antheraxanthin	μg/g DW	Potato
	Capsanthin	μg/g DW	Capsicum

Table 3 Analyte Categories and Analytes for Crop Composition DB (Continued)

Analyte category	Analyte	Units	Crop types
Flavonoids	β-cryptoxanthin	μg/g DW	Capsicum
	Quercetin	μg/g DW	Sweetpotato
	Myricetin	μg/g DW	Sweetpotato
	Kaempferol	μg/g DW	Sweetpotato
	Luteolin	μg/g DW	Sweetpotato
Policosanols	Tetracosanol	μg/g DW	Potato
	Heneicosanol	μg/g DW	Potato
	Docosanol	μg/g DW	Potato
	Tricosanol	μg/g DW	Potato
	Hexacosanol	μg/g DW	Potato
	Heptacosanol	μg/g DW	Potato
	Octacosanol	μg/g DW	Potato
	Eicosanol	μg/g DW	Potato
	Tracontanol	μg/g DW	Potato
	Phytosterols	Cholesterol	μg/g DW
Stigmasterol		μg/g DW	Potato, capsicum
beta-Sitosterol		μg/g DW	Potato, capsicum
Campesterol		μg/g DW	Capsicum
Free sugar		Fructose	%
	Glucose	%	Capsicum
Others	Capsaicin	μg/g	Capsicum
	Dihydrocapsaicin	μg/g	Capsicum



Fig. 1 Selection of criteria for Crop Composition Database search (http://www.nass.go.kr/10_gmo/Gmo_CropLst.do)

릭하면 성분DB 조회 화면으로 접속하게 된다(Fig. 1). Figure 1에서 먼저 작물 종류와 조직을 선택한다. 예를 들어 작물로 벼를 선택하면 조직으로 가지, 뿌리, 알곡, 잎, 줄기, 화분 중 하나를 선택할 수 있다. 이 후 가공형태로 paddy(논벼)와 parboiled(찐쌀), rice hull(쌀껍질), brown(현미), flour(쌀가루), bran(쌀겨)이 있으나, 현재는 현미에서의 성분분석 정보가

제공되고 있다. 재배년도, 재배지역, 품종에 대해서는 풀다운 방법으로 필요한 옵션을 지정하여 하나 또는 다수를 선택하거나 전체를 지정할 수 있다. 벼의 경우 2012년부터 2015년까지 분석 데이터가 있으며, 연도에 따라 재배지역이 다를 수 있다. 예를 들어 2013년에는 경기지역에서 재배한 벼에 대한 정보만 있으며, 2014년의 경우 경상북도과 경기지역

검색조건							
작물-조직-가공형태	벼 - 알곡 - brown						
재배년도	2015						
재배지역(도단위)	경기도						
품종	자포니카						

성분항목	세부성분	샘플수	최소값	최대값	평균값	단위	분석방법
<input checked="" type="checkbox"/> Proximates(10)	-	-	-	-	-	-	-
	Crude Fat	500	0.965	2.788	1.707	% DW	AOAC method 960.39
	Crude Protein	500	4.563	8.923	5.805	% DW	AOAC method 955.04
	Crude Ash	500	0.777	2.04	1.172	% DW	AOAC method 923.03
	Moisture	500	5.946	13.95	10.881	%	Park et al. (2012)
	Total Dietary Fibre	270	3.578	6.101	4.477	% DW	AOAC method 991.43
	Insoluble Dietary Fibre	500	2.222	5.847	4.168	% DW	AOAC method 991.43

Fig. 2 Example of data output from Crop Composition Database search (http://www.nass.go.kr/10_gmo/Gmo_CropLst.do)

에서의 데이터가 제공된다. 재배품종으로는 자포니카와 통일벼, 인디카에 대한 분석 정보가 있으며, 재배 연도에 따라 정보가 제공되지 않는 품종이 있을 수 있다. 각 항목에서 정보가 제공되는 하위 항목들은 검은색 글자로 표시되어 있으며, 검색이 제공되지 않는 하위 항목들은 회색 글자로 나타내고 있어, 편리하게 필요한 정보를 검색할 수 있다.

Figure 2에 나타난 예시에서는 작물로 벼를 선택하고 조직으로 알곡, 가공형태로는 현미, 재배년도 2015, 재배지역 경기도, 품종으로 자포니카를 선택한 것이다. Figure 2에서 맨 위에 검색조건에 대한 정보가 나오며, DB에서 제공되고 있는 성분항목이 나타난다. 성분항목의 체크박스를 클릭하면 성분항목에 속한 세부성분, 샘플수, 최소값, 최대값, 평균값, 단위, 분석방법에 대한 정보를 간편 보기로 볼 수 있다. 검색 결과는 엑셀파일로 제공되고 있다. 엑셀파일 아이콘을 클릭하면 파일을 다운로드 받을 수 있는데, 선택된 성분항목에 대한 자료만 제공되는 것이 아니라 분석된 모든 성분항목에 대한 자료가 제공되며, 분석 방법에 대한 참고문헌과 방법에 대한 상세한 정보가 적혀있다.

「작물성분 DB」와 OECD 문헌의 벼 성분 비교

「작물성분 DB」에서 제공하는 벼의 주요 성분데이터가 현재 GM작물의 안전성 평가에서 상업작물의 성분 비교 자료로써 활용되고 있는 OECD 합의문서(OECD 2016) 데이터와 ILSI-CCDB 데이터를 비교하여 보았다. ILSI-CCDB는 논벼에 대한 데이터만을 제공하기 때문에 현미의 성분을 제공하는 「작물성분 DB」 데이터와는 비교를 할 수 없었다. OECD 합의문서(2016)에는 식용을 위한 논벼와 현미 백미 등 가공 형태와 배, 쌀겨 등 부위별 주요 성분데이터를 문헌과 ILSI-

CCDB, USDA, NARO (National Agricultural Research Organization-Japan) 데이터베이스의 데이터를 Table로 정리하여 제공하고 있다. OECD 합의문서의 현미 성분 데이터들 중에서 가급적 최근에 발표되었으며, 분석된 성분의 항목들이 많은 NARO (2011) 데이터와 「작물성분 DB」 데이터를 비교하였다(Table 4). NARO (2011) 데이터는 1999년에서 2009년 사이에 일본의 주요 벼 품종에서 분석되었으며, 샘플은 138개이다. 「작물성분 DB」의 벼 시료에 대한 정보는 Table 1에 정리되어 있으며, 샘플 개수는 500이다. 두 데이터를 비교하였을 때 대부분의 분석 항목에서 「작물성분 DB」의 평균값이 NARO (2011)보다 낮았으며, 이와 일치되게 최소값과 최대값이 낮았다. 특히 비타민 B3(니아신)은 「작물성분 DB」의 최소·최대값이 현저히 낮아서 NARO (2011)의 최소·최대값 범위에 들어가지 않았다. 이러한 차이는 벼 품종과 현미로의 도정 정도의 차이, 재배 환경 등으로부터 발생하였을 수 있다. 이렇게 국가마다 가지고 있는 DB 빅데이터 정보로부터 작물 품종별, 재배정보별 등 환경요인에 의해 성분차이가 있는 것을 알 수 있다.

결론 및 전망

GM작물에서 도입된 유전자의 영향에 의하여 발생할 수 있는 비의도적인 성분 변화를 조사하기 위한 방법들이 발전되고 있다. 현재까지는 GM작물의 안전성 평가법으로는 OECD의 가이드라인에 명시되어 있는 주요 영양성분과 항영양소, 독성물질, 이차대사 산물과 같은 알려진 성분을 비교작물과 비교하는 표적성분 접근법이 이용되고 있다. 그러나 표적성분 접근법은 분석 가능한 물질의 제한성과 알려지지 않은 항

Table 4 Comparison of the representative brown rice data from NAAS Crop Composition DB and OECD Consensus Document

Component ^a	NAAS ^b range ^c	NAAS mean	OECD range ^d	OECD mean
Proximates (% DW)				
Ash	0.78-2.04	1.172	1.2-1.7	1.5
Carbohydrate	79.9-92.9	88.882	85.2-88.9	87.5
Crude fat	0.97-2.79	1.707	2.8-3.9	3.3
Crude protein	4.56-8.92	5.81	6.5-10.0	7.7
Moisture	5.95-14	10.88	12.1-16.4	13.8
Amino acids (% DW)				
Alanine	0.24-0.51	0.329	0.37-0.59	0.45
Arginine	0.35-0.69	0.459	0.52-0.88	0.63
Aspartic Acid	0.39-1.04	0.517	0.59-0.96	0.71
Cysteine	0.11-0.21	0.139	0.15-0.28	0.2
Glutamic Acid	0.7-1.52	0.958	1.06-1.88	1.32
Glycine	0.20-0.39	0.269	0.32-0.48	0.37
Histidine	0.11-0.2	0.139	0.16-0.27	0.2
Isoleucine	0.14-0.31	0.196	0.22-0.40	0.29
Leucine	0.32-0.8	0.467	0.51-0.85	0.62
Lysine	0.17-0.38	0.222	0.26-0.40	0.3
Methionine	0.1-0.20	0.132	0.14-0.34	0.22
Fatty acids (% total FA)				
14:0 Myristic	0.24-1.07	0.45	0.5-1.1	0.7
16:0 Palmitic	14.7-22.7	18.4	18.2-31.2	21.9
18:0 Stearic	1.7-5.4	2.5	1.5-2.8	2
18:1 Oleic	33.4-47.3	39.4	30.9-42.0	36.9
18:2 Linoleic	29.4-40.8	36.5	26.1-39.0	34.7
18:3 Linolenic	1.13-2.65	1.54	0.9-1.6	1.2
20:0 Arachidic	0.3-1.38	0.61	0.4-0.7	0.6
Vitamin (µg/g DW)				
Vitamin B1 (Thiamin)	0.47-5.46	3.478	3.6-8.1	5.1
Vitamin B2 (Riboflavin)	0.1-0.86	0.438	0.2-0.7	0.5
Vitamin B3 (Niacin)	1.61-22.8	9.9	50.4-134.7	79
Vitamin B7 (Biotin)	0.008-0.28	0.082		
alpha-Tocopherol	2.21-99.3	28.1	8.9-21	14.9

^aFor the units of measure: DW=dry weight, FA=fatty acids.

^bNAAS: National Academy of Agricultural Sciences.

^cData of brown rice was taken from the japonica type of *Oryza sativa*.

^dData of brown rice was taken from NARO (2011) in OECD revised consensus document on compositional considerations for new varieties of rice (*Oryza sativa*).

영양소나 독성물질 등을 확인할 수가 없다. 따라서 이를 보완하기 위하여 GM작물과 비교작물에서 전사체, 단백질체, 대사체 등의 프로파일링을 비교하는 비표적 성분 접근법이 발전되고 사용되고 있다(Ricroch et al. 2001; Ruebelt et al. 2006; Gong and Wang 2013). 그러나 작물에서 전사체와 단백질체, 대사체의 변화는 품종, 성장단계, 재배환경에 따라서 달라질 수 있다. 안전성평가에 프로파일링 데이터를 정확하게 이해하고 효과적으로 사용하기 위해서는 전사체, 단백질체, 대사체의 반복 실험과 통계분석, 생물학적 검증 등이 필요하다. 기존 상업작물의 자연적 변이 데이터가 축적되기까지 시간이 필요하다(Chassy 2010). 작물성분 DB의 구축과 확장은 향후 개발되는 새로운 생명공학 작물의 비의도적 변화를 좀 더 과학적으로 평가하기 위해, 표적 및 비표적 물질의 빅

데이터를 프로파일링함으로써 GM작물의 안전성 평가에서 비교평가법으로 지속적으로 중요하게 활용되는 오픈소스가 될 것이다.

최근에 CRISPR 유전자편집기술이 적용된 작물의 경우 GMO규제 대상인지 아닌지 논란이 되고 있다. 외부 유전자를 식물의 유전체에 삽입시키지 않는다는 측면에서 GMO와 관련된 규제를 비켜나갈 수 있을 것이라는 기대가 높다(Ishii and Araki 2017). 실지로 미국은 CRISPR 유전자편집기술로 만든 갈변방지버섯은 기존의 유전자변형생물체와 달리 ‘transgene-free’이기 때문에 GMO규제 대상이 아니라고 허가하였으며, 이후 토마토, 옥수수 등의 다른 작물에서도 CRISPR 유전자편집기술이 적용되어 유전자단편이 존재하지 않는 경우 안전성 심사과정에서 제외되어 승인되었다

(Lee 2018). 일본의 경우 미국과 유사하게 GMO작물 규제 대상에서 제외하는 방향을 추진하고 있다. 그러나 유럽연합 (EU) 국가들과 뉴질랜드 등은 CRISPR 유전자편집 작물의 GMO 규제 대상 여부에 대한 찬반논리가 뜨거운 상태이다. 현재 우리나라는 CRISPR 유전자편집 작물 또한 ‘유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률’에 따르며 GMO와 같은 규제를 적용 받는다. 유전자편집 기술은 기존 육종기술에 비해 시간을 단축하며 새로운 형질들을 갖는 농산물을 기대할 수 있는 획기적인 육종기술이다. 특히 가뭄과 더위 등 기후변화를 극복할 수 있는 작물의 개발, 질병 저항성, 수량 증대 등의 형질을 가진 작물들이 집중적으로 개발되고 있으며, 미국을 중심으로 곧 유전자편집 작물들이 국제 곡물시장에 출시될 것으로 전망된다(Lee 2018). 그러나 유전체 교정 과정의 부정확성 등 잠재적 위험 가능성 때문에 유전자편집 작물들의 안전성에 대한 우려도 제기되고 있다. 따라서 유전자편집 작물들이 향후 본격적으로 상업화될 경우 「작물성분 DB」는 안전성 평가에서 중요한 자료가 될 것이다. 앞으로 수입 또는 국내에서 개발되어 재배될 가능성이 높은 생명공학 작물들의 상업화 품종들에 대한 성분분석 등으로 「작물성분 DB」의 영역을 넓혀갈 필요가 있다. 그리고 성분 조화와 결과 옵션들을 사용자가 더 편리하고 효율적으로 사용할 수 있도록 데이터베이스 업그레이드가 이루어진다면 「작물성분 DB」는 새로이 개발되는 작물 품종들의 안전성 평가에서 중요한 비교자료가 될 것이다. 또한 주요 작물 품종들의 재배지역과 재배연도에 따른 성분 조성을 비교하여 환경요인에 따른 품질 특성 등에 대한 중요한 정보를 제공할 것이라 기대된다.

적 요

국립농업과학원 생물안전성과는 생명공학기술로 개발되는 작물(GM작물)의 안전성 평가 중 ‘성분분석에 의한 비교 평가’에 참고자료로 활용할 수 있도록 기존 상업화 작물성분의 분석 데이터를 제공하는 「작물성분 DB」를 구축하였다. 「작물성분 DB」는 우리나라의 자연 환경에서 재배되는 주요 작물 품종들의 영양성분 함량정보를 제공함으로써 품종과 재배 지역, 연도에 따라 함량의 변화 정도를 확인할 수 있도록 데이터를 업그레이드 하고 있다. 현재 2곳 이상의 재배지역에서 2년 이상 재배한 벼와 고추 시료에 대한 주요 영양분과 항영양소, 2차 대사산물을 검증된 분석 방법을 사용하여 분석한 데이터를 제공하고 있다. 데이터는 평균값과 최저, 최대값을 제공함으로써 GM작물의 안전성 평가시 GM작물과 대응 비교작물 간에 나타나는 통계적 차이가 기존 상업작물의 생물학적 차이 또는 허용범위 내에 속하는지를 평가할 수 있도록 하였다. 「작물성분 DB」는 사용자가 선택한 쿼리를 기반으로 쉽게 검색하고 활용하도록 하고 있다. 또

한 유색미와 감자, 고구마, 콜리플라워와 같은 유색 작물의 기능성 성분 함량 정보를 제공하고 있어 일반 소비자들도 유용하게 정보를 활용할 수 있다. 본 논문은 상업작물 성분에 대한 중요한 정보를 제공하는 농진청 「작물성분 DB」의 구성과 사용법을 소개하였다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원의 기관고유 사업(과제번호: PJ013696)의 연구지원에 의해 수행되었음.

References

- Alba R, Phillips A, Mackie S, Gillikin N, Maxwell C, Brune P, Ridley W, Fitzpatrick J, Levine M, Harris S (2010) Improvements to the international life sciences institute crop composition database. *J Food Compos Anal* 23:741-748
- Aldemita RR, Reaño IME, Solis RO, Hautea RA (2015) Trends in global approvals of biotech crops (1992-2014). *GM Crops & Food* 6:150-166
- Brune PD, Culler AH, Ridley WP, Walker K (2013) Safety of GM crops: Compositional analysis. *J Agri Food Chem* 61:8243-8247
- Chassy BM (2010) Can-omics inform a food safety assessment? *Regul Toxicol Pharm* 58:S62-S70
- Codex Alimentarius (2003a) Principles for the risk analysis of foods derived from modern biotechnology; CAC/GL44-2003
- Codex Alimentarius (2003b) Guideline for the conduct of food safety assessment of foods derived from recombinant-DNA plants; CAC/GL45-2003
- Dunwell JM (2014) Transgenic cereals: Current status and future prospects. *J Cereal Sci* 59:419-434
- EFSA (2010) EFSA Panel on genetically modified organisms (GMO). Scientific opinion on statistical considerations for the safety evaluation of GMOs. *EFSA J* 8:1250, 59pp
- EFSA (2011a) Guidance on selection of comparators for the risk assessment of genetically modified plants and derived food and feed. *EFSA J* 9:2149
- EFSA (2011b) Guidance for risk assessment of food and feed from genetically modified plants. *EFSA J* 9:2150
- EFSA (2011c) EFSA Panel on genetically modified organisms (GMO). Scientific opinion on guidance on selection of comparators for the risk assessment of genetically modified plants and derived food and feed. *EFSA J* 9:2149, 22pp
- Gong CY, Wang T (2013) Proteomic evaluation of genetically modified crops: current status and challenges. *Front Plant Sci* 4:41
- Harrigan GG, Glenn KC, Ridley WP (2010) Assessing the natural variability in crop composition. *58:513-520*
- Herman RA, Price WD (2013) Unintended compositional changes in genetically modified (GM) crops: 20 years of research. *J Agric Food Chem* 61:11695-11701

- Huang Y, So Y-J, Hwang JR, Yoo K-M, Lee K-W, Lee Y-J, Hwang IK (2014) Comparative studies on phytochemicals and bioactive activities in 24 new varieties of red pepper. *Korean J Food Sci Technol* 46:395-403
- Hwang IG, Yoo SM, Lee J (2014) Quality characteristics of red pepper cultivars according to cultivation years and regions. *Korean J Food & Nutr* 27:817-825
- ISAAA. 2017. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years. ISAAA Brief No. 53. ISAAA: Ithaca, NY
- Ishii T, Araki M (2017) A future scenario of the global regulatory landscape regarding genome-edited crops. *GM Crops & Food* 8:44-56
- Johnson AAT, Kyriacou B, Callahan DL, Carruthers L, Stangoulis J, Lombi E, Tester M (2011) Constitutive overexpression of the OsNAS gene family reveals single-gene strategies for effective iron- and zinc-biofortification of rice endosperm. *PLOS One* 6, e24476
- Kim M, Yang H-R, Jeong Y (2004) Mineral contents of brown and milled rice. *J Korean Sci Food Sci Nutr* 33:443-446
- Kok EJ, Kuiper HA (2003) Comparative safety assessment for biotech crops. *Trends in Biotechnol* 21:439-444
- Kyoun OY, Oh SH, Kim HY, Lee JH, Kim HC, Yoon WK, Kim HM, Kim MR (2006) Analyses of nutrients and antinutrients of rice cultivars. *Korean J Food Sci* 22:949-956
- Lee H-J, Lee H-J, Byun S-M, Kim H-S (1988) Studies on the lipid content and neutral lipid composition of brown rice and milled rice. *Korean J Food Sci* 20:585-593
- Lee S, Jeon US, Lee SJ, Kim YK, Persson DP, Husted S, Schjørring JK, Kakei Y, Masuda H, Nishizawa NK, An G (2009) Iron fortification of rice seeds through activation of the nicotianamine synthase gene. *Proc Natl Acad Sci USA* 106:22014-22019
- Lee S-E, Ham H, Kim Y, Sung J, Hwang I-G, Yu S-M, Jeong H-S, Lee J (2013) The content of capsaicinoids in peppers by cultivation region in Korea. *J Korean Sci Food Sci Nutr* 42:129-133
- Lee S-W (2018) Strengthening the competitiveness of agricultural biotechnology through practical application of gene editing technology. *J Plant Biotechnol* 45:155-170
- OECD (1993) Safety evaluation of foods derived by modern biotechnology; Concepts and Principles; Organization of Economic Cooperation and Development (OECD): Paris, France
- OECD (2012) Revised consensus document on compositional consideration for new varieties of soybean [Glycine Max(L) Merr]: Key food and feed nutrients, anti-nutrients and other constituents. Organization for Economic Co-operation and Development. Paris. France
- OECD (2016) Revised consensus document on compositional consideration for new varieties of rice (*Oryza Sativa*): Key food and feed nutrients, anti-nutrients and other constituents. Organization for Economic Co-operation and Development. Paris. France
- Oh S, Lee S, Park S, Lee S, Lee S, Cho H, Chung Y, Park S (2018) Statistical study on the environmental effects of nutritional components in rice varieties. *Food Sci Nutr* 1-10pp <https://doi.org/10.1002/fsn3.839>
- Paine J, Shipton C, Chaggar S, Howells R, Kennedy M, Vernon G, Wright S, Hinchliffe E, Adams J, Silverstone A, Drake R (2005) Improving the nutritional value of golden rice through increased pro-vitamin A content. *Nat Biotechnol* 23:482-487
- Privalle LS (2013) Bringing a transgenic crop to market: Where compositional analysis fits. *J Agric Food Chem* 61:8260-8266
- Reynolds TL, Nemeth MA, Glenn KC, Ridley WP, Astwood JD (2005) Natural variability of metabolites in maize grain: differences due to genetic background. *J Agric Food Chem* 53:10061-10067
- Ricroch AE, Bergé JB, Kuntz M (2001) Evaluation of Genetically Engineered Crops Using Transcriptomic, Proteomic, and Metabolomic Profiling Techniques. *Plant Physiol* 155:1752-1761
- Ridley WP, Shillito RD, Coats I, Steiner H-Y, Shawgo M, Phillips A, Dussold P, Kurtyka L (2004) Development of the international life sciences institute crop composition database. *J Food Compos Anal* 17:423-438
- Ruebel MC, Leimgruber NK, Lipp M, Reynolds TL, Nemeth MA, Astwood JD, Engel KH, Jany KD (2006) Application of two-dimensional gel electrophoresis to interrogate alterations in the proteome of genetically modified crops. 1. Assessing analytical validation. *J Agric Food Chem* 54:2154-2161
- Sabalza M, Madeira L, van Dolleweerd C, Ma JK, Capell T, Christou P (2012) Functional characterization of the recombinant HIV-neutralizing monoclonal antibody 2F5 produced in maize seeds. *Plant Mol Biol* 80:477-488
- Sult T, Barthet VJ, Bennett L, Edwards A, Fast B, Gillikin N, Launis K, New S, Rogers-Szuma K, Sabbatini J, Srinivasan JR, Tilton GB, Venkatesh TV (2016) Report: Release of the international life sciences institute crop composition database version 5. *J Food Compos Anal* 51:106-111
- Yang CI, Yang SJ, Jeoung YP, Choi HC, Shin YB (2001) Genotype × Environmental interaction of rice yield in multi-location trials. *Korean J Crop Sci* 46:453-458
- Ye X, Al-Babili S, Klöti A, Zhang J, Lucca P, Beyer P, Potrykus I (2000) Engineering the provitamin A (β-carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science* 287:303-305
- Zhang S, Haider I, Kohlen W, Jiang L, Bouwmeester H, Meijer AH, Schluepmann H, Liu CM, Ouwkerk PB (2012) Function of the HD-Zip I gene Oshox22 in ABA-mediated drought and salt tolerances in rice. *Plant Mol Biol* 80:571-585