

Investigation on Polychlorinated Dibenzop-dioxins, Polychlorinated Dibenzofurans and Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls of Grains and Estimation of Dietary Intake for Korean

Geun-Hyoung Choi · Dal-Soon Choi · Su-Myeong Hong · Oh-Kyoung Kwon · Hee Soo Eun · Jung Han Kim · Jin Hyo Kim*

국내생산 주곡작물의 Polychlorinated Dibenzop-dioxins, Polychlorinated Dibenzofurans와 Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls 잔류량 및 섭취노출량 평가

최근형 · 최달순 · 홍수명 · 권오경 · 은희수 · 김정환 · 김진호*

Received: 9 May 2012 / Accepted: 27 August 2012 / Published Online: 31 December 2012
© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2012

Abstract Dioxin contamination on agroproducts is one of the most important issue in food safety. Herein, we measured concentration of 17 dioxins polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) and 14 dioxin like-polychlorinated biphenyls (DL-PCBs) in the main grain (rice and barley) that were produced in Korea. The 36 rice samples were collected from rice processing complex at eight provinces, and the average concentrations of each province were ranged from 2.98 pg/g wet weight (w.w) to 4.98 pg/g w.w. as total PCDD/Fs and DL-PCBs. The seven barley samples were collected from Jeon-nam and Jeon-buk provinces, and their average total concentrations of PCDD/Fs and DL-PCBs were 3.00 pg/g w.w. and 3.24 pg/g w.w. respectively. The residual amounts and toxic equivalent (TEQ) of DL-PCBs in rice and barley were higher than PCDD/Fs. The average total TEQ of rice and barley were 0.0056 pg-TEQ/g and 0.0092 pg-TEQ/g on lower bound estimation

respectively. Estimated daily intake of dioxins from rice and barley were calculated 1.03 pg-TEQ/day/person and 0.0534 pg-TEQ/day/person respectively. These were estimated 0.46% and 0.03% of Korean TDI based on 55 kg body weight.

Keywords grain · Korea · polychlorinated biphenyls · polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins · polychlorinated dibenzofurans

서론

스톡홀름협약을 통해 지정되는 잔류성 유기오염물질(Persistent organic pollutants, POPs)은 14종의 사용금지 농약류와 다이옥신류, 과불화합물 등 2011년까지 총 22종의 유해화학물질이 선정되어 의도적인 생산 또는 발생을 저감화하거나 근절하기 위해 엄격히 관리되고 있다. 특히 이들 중 다이옥신류로 분류된 polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) 그리고 dioxin-like polychlorinated biphenyls (DL-PCBs)는 높은 환경 잔류성, 생물 농축성 및 독성문제 등으로 인해 환경뿐만 아니라 농식품에서도 잔류문제가 사회적으로 크게 대두되고 있다(Parzefall 등, 2002; Grassi 등, 2010; Moon 등, 2010). 특히 다이옥신류의 지용성 특성으로 인해 육류, 어류등 고지방함유 식품에 대한 잔류 위험성이 제기됨에 따라, 전 세계적으로 육류를 비롯한 고지방함유 농수축산물에 대한 잔류분석 모니터링 연구가 꾸준히 진행되고 있다(Bernard 등,

G.-H. Choi · D.-S. Choi · S.-M. Hong · O.-K. Kwon · J. H. Kim*
Chemical Safety Division, National Academy of Agricultural Science,
Rural Development Administration, Suwon 441-707, Republic of Korea

H. S. Eun
Organochemicals Division, National Institute for Agro-Environmental
Sciences, 3-1-3 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8604, Japan

J. H. Kim
Program in Applied Life Chemistry, School of Agricultural Biotechnology,
Seoul National University, Seoul, 151-742, Republic of Korea

*Corresponding author (J. H. Kim: setup75@korea.kr)

1999; Edwards 등, 2004; Guruge 등 2005; Kim 등, 2008). 이들 다이옥신류 중 2,3,7,8-PCDD/Fs와 non-ortho-PCBs 중 일부 화합물은 aryl hydrocarbon receptor (AhR)와 강하게 결합하여 DNA 염기서열 중 dioxin response element (DRE)와 결합함으로써 인해 암 발생, 생식기능저해, 면역독성 등을 나타내는 것으로 알려져 있다(Safe 등, 1986; Sutter와 Greenlee, 1992; Park 등, 2010). 이러한 다이옥신류의 고위험성으로 인해 국내 외에서 내용일일섭취량(TDI)을 4 pg-toxic equivalent (TEQ)_{WHO}/kg body weight (b.w.)/day로 설정하여 이들 다이옥신류에 대한 안전관리를 수행해 오고 있다(European Commission, 2000; Oh 등, 2010).

Baars 등(2004)의 연구결과에 따르면, 비작업자의 다이옥신류 인체노출경로 중 대부분이 육류 및 수산물 식품섭취에 의한 노출인 것으로 조사되었고, 국내에서도 지용성인 다이옥신류의 특성으로 인해 축산물, 수산물 등 고지방함유 식품에 대한 다이옥신류 잔류실태조사가 지속적으로 진행되고 있다(Kim 등 2007; 2008). 하지만, 곡류의 경우 2010년 Oh 등(2010)에 의해 2004년부터 2007년까지 5년간 총 14점의 시료에 대한 잔류분석연구가 수행되었을 뿐, 지난 10여년간 지역별 곡류의 다이옥신류 오염실태 및 섭취노출량 예측에 활용 할 수 있는 충분한 연구가 수행되지 못하였다. 본 연구에서는 국내 생산 곡류의 다이옥신류 잔류량 및 섭취노출량 산정을 위해 국내 다소비 3대 곡류인 쌀(76.9 kg/인)과 밀(33.7 kg/인), 보리(1.1 kg/인) 중 곡류자급율이 높은 쌀(95.8%)과 보리(52.3%)를 선정하였으며, 밀은 국내 소비량은 많으나 자급율이 0.3%로 매우 낮아 국내산 주곡류 모니터링 대상에서 제외하였다(MIFAFF, 2010). 본 연구진은 전국 8개 도에서 2010년 생산된 쌀 36점과 국내보리 주산지에서 생산된 2011년산 보리 7점을 대상으로 17종의 PCDD/Fs와 14종의 DL-PCBs에 대한 잔류실태를 조사하고, 국내 생산 곡류를 통한 한국인의 다이옥신 섭취량을 계산하였다.

재료 및 방법

시료채집. 본 연구에서 잔류분석을 위하여 채집된 곡류는 2010년산 쌀을 백미형태로 도정하여 유통되도록 포장된 36점의 시료를 각 지역 미곡종합처리장(강원도 3점, 경기도 3점, 충청북도 3점, 충청남도 6점, 전라북도 5점, 전라남도 6점, 경상북도 6점, 경상남도 4점)에서 채집하였다. 보리는 2011년산 식용보리를 주산지인 전라남도에서 4점, 전라북도에서 3점을 채집하여 직접 도정하였다. 모든 시료는 분말로 분쇄한 후 0.5 mm 이하 입자만 선별하여 냉동보관하였다.

표준물질 및 시약. 시험에 사용된 표준물질은 ¹³C-동위원소표지 PCDDs 7종, PCDFs 10종, DL-PCBs 14종이 혼합된 표준품(Catalog No. DFP-LCS-A)과 2종의 ¹³C-동위원소표지 PCDFs (1,2,3,4,6-PeCDF, 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF, Catalog No. DF-IS-G40) 혼합표준품, 3종의 ¹³C-동위원소표지 PCBs (PCB #70, #111, #118, Catalog No. PCB-IS-B20) 혼합표준품을 Wellington Laboratories (Canada)에서 구입하였다. 디클로로메탄, n-헥산, 노난, 아세톤, 톨루엔, 에틸아세테이트는 GC용 등급을 Merck사에서 구입(Merck KGaA, Germany)하였으며, 무수황산나트륨, 염화나트륨, 황산은 ACS급을 Merck사(KGaA)에서 구입하였다. 전처리에 사용한 물은 18 mΩ 증류수를 사용하였다. Glass wool 및 cellulose thimble (Advantec, Toyo Roshi Kaisha Ltd., Japan)

Table 1 LODs of PCDD/Fs and DL-PCBs

		LOD
PCDDs	2,3,7,8-TCDD	0.01 pg/g
	1,2,3,7,8-PeCDD	0.01 pg/g
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.02 pg/g
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.02 pg/g
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.02 pg/g
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.02 pg/g
	OCDD	0.05 pg/g
PCDFs	2,3,7,8-TCDF	0.01 pg/g
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.01 pg/g
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.01 pg/g
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.02 pg/g
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.02 pg/g
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.02 pg/g
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.02 pg/g
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.02 pg/g
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.02 pg/g
	OCDF	0.05 pg/g
PCB #77	3,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl	0.1 pg/g
PCB #81	3,4,4',5-Tetrachlorobiphenyl	0.1 pg/g
PCB #126	3,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl	0.1 pg/g
PCB #169	3,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl	0.1 pg/g
PCB #105	2,3,3',4,4'-Pentachlorobiphenyl	1.0 pg/g
PCB #114	2,3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl	1.0 pg/g
PCB #118	2,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl	1.0 pg/g
PCB #123	2',3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl	1.0 pg/g
PCB #156	2,3,3',4,4',5-Hexachlorobiphenyl	1.0 pg/g
PCB #157	2,3,3',4,4',5'-Hexachlorobiphenyl	1.0 pg/g
PCB #167	2,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl	1.0 pg/g
PCB #189	2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl	1.0 pg/g

을 톨루엔으로 3시간동안 Soxhlet 추출하여 건조 후 사용하였다. 자동화된 칼럼 크로마토그래피(Power-Prep™, FMS Co., USA)의 칼럼은 1회용인 실리카겔 칼럼(Silica #CLDS-ABN-STD, FMS Co.), 알루미나칼럼(Alumina #CLDA-BAS-011, FMS Co., USA)과 카본칼럼(Carbon #CLDC-CCE-034, FMS Co.)을 사용하였다.

시료전처리. 다이옥신류의 검량선 작성용 표준물질, 정제용 표준물질, 기기 보정용 표준물질, 검량선작성은 미국 EPA 1613방법에 따라 사용하였고, 시료전처리는 Choi 등(2012)이 사용한 방법을 활용하여 수행하였다. 우선, 다이옥신 분석을 위해 시료 50 g을 n-헥산/디클로로메탄(1/1) 혼합용액 300 mL를 사용하여 16시간동안 Soxhlet 추출(5 cycle/h)한 뒤 포화 소금물 200 mL를 사용하여 분액정제하고, 유기용매층을 회수한 뒤 농황산 30 mL를 첨가 후 24시간동안 유기물을 분해하였다. 유기용매층은 증류수(500 mL × 3)로 분액하여 황산을 제거한 후 감압농축하였다. 농축시료는 n-헥산 5 mL로 재용해 후, 모든 시료에 ¹³C-동위원소표지 31종 PCDD/Fs와 DL-PCBs 혼합표준용액을 spike 하고, 실리카겔칼럼, 알루미나칼럼, 카본칼럼이 장착된 자동화 칼럼크로마토그래피 장비를 통하여 정제하였다. 우선 10종의 DL-PCBs (#105, #114, #118, #123, #156, #157, #167, #170, #180, #189) 분석용 정제시료는 실리카겔칼럼에 정제용시료를 가하여 n-헥산 90 mL로 용출시키고, 그 용출액을 알루미나칼럼

에 가한 후 72 mL n-헥산/디클로로메탄(98/2, v/v) 으로 용출시켜 정제하였으며(Fraction 1), 이어서 120 mL n-헥산/디클로로메탄(50/50, v/v) 용액으로 알루미나칼럼을 용출시켜 카본칼럼에 가하고 용출된 용액을 Fraction 1과 합친다. 이후, 카본칼럼은 에틸아세테이트/톨루엔(50/50, v/v) 혼합액 4 mL 및 n-헥산 10 mL의 순으로 방해물질을 제거한 다음 톨루엔 75 mL로 역용리하여 4종 DL-PCBs (#77, #81, #126, #169)와 17종 PCDD/Fs 분석용 정제시료(Fraction 2)로 사용하였다. Fraction 1과 2는 각각 감압농축한 후 n-헥산으로 재용해 하고, Fraction 1에는 ¹³C-동위원소표지 PCB (#70, #111, #138) 첨가하였고, Fraction 2

는 3종의 ¹³C-동위원소표지 PCB (#70, #111, #138) 혼합 내부 표준물질과 2종의 ¹³C-동위원소표지 PCDFs (1,2,3,4,6-PeCDF, 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF) 혼합 표준용액을 첨가한 후 시료용액 최종부피를 100 µL로 조절하였다.

기기분석. 다이옥신류 시료분석을 위한 고분해능 가스크로마토그래피(High resolution gas chromatography)는 DB-5MS (60 m × 0.25 mm × 0.25 µm)와 SP-2331 (60 m × 0.25 mm × 0.2 µm)가 각각 장착된 Agilent 6890 (Agilent, USA)과 고분해능 질량분석기 Autospec Ultima (Micromass, UK)를 사용하였다. Fraction 1은 DB-5MS 칼럼을 사용하여 분석하였으며, Fraction 2는 우

Table 2 Concentration of PCDDs, PCDFs and DL-PCBs in Korean rice (pg/g w.w)

	Gangwon (n=3)			Gyeong-gi (n=3)		
	Range	Average*	SD	Range	Average	SD
2,3,7,8-TeCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8-PeCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,6,7,8-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8,9-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	<LOD-0.598	0.299	0.189	<LOD-0.132	0.0782	0.0565
OCDD	<LOD-0.166	0.0829	0.0632	<LOD	<LOD	-
2,3,7,8-TeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8-PeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
2,3,4,7,8-PeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,6,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<LOD-0.369	0.185	0.175	<LOD	<LOD	-
2,3,4,6,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	<LOD-0.0553	0.0276	0.0180	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD-0.390	0.130	0.184
OCDF	<LOD-1.45	0.727	0.707	<LOD	<LOD	-
<i>non-ortho</i> PCBs						
PCB #77	<LOD-0.135	0.0677	0.058	0.145–0.289	0.232	0.0628
PCB #81	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #126	<LOD	<LOD	-	<LOD-0.268	0.0894	0.127
PCB #169	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
<i>mono-ortho</i> PCBs						
PCB #105	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #114	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #118	<LOD-1.20	0.598	0.468	1.27–1.900	1.56	0.258
PCB #123	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #156	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #157	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #167	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #189	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
<i>di-ortho</i> PCBs						
PCB #170	<LOD	<LOD	-	<LOD-2.35	0.784	1.108
PCB #180	1.46–1.47	1.47	0.0087	1.63–1.81	1.70	0.079
PCDDs	0.166–0.598	0.382	0.216	<LOD-0.132	0.0782	0.0565
PCDFs	0.055–1.823	0.939	0.884	<LOD-0.390	0.130	0.184
ΣPCDD/Fs	0.221–2.42	1.32	1.10	<LOD-0.493	0.208	0.208
DL-PCBs	1.47–2.79	2.13	0.657	3.32–5.97	4.37	1.15
ΣPCDD/Fs+DL-PCBs	1.69–5.21	3.45	1.76	3.32–6.46	4.58	1.36

*Average were calculated with <LOD as zero.

Table 2 Continued

	Chung-buk (n=3)			Chung-nam (n=6)		
	Range	Average	SD	Range	Average	SD
2,3,7,8-TeCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8-PeCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,6,7,8-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8,9-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD-0.448	0.108	0.159
OCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD-0.222	0.0371	0.0829
2,3,7,8-TeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8-PeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
2,3,4,7,8-PeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,6,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
2,3,4,6,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD-0.070	0.0117	0.0261
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
OCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
<i>non-ortho</i> PCBs						
PCB #77	0.226–0.276	0.252	0.0202	<LOD-0.429	0.108	0.164
PCB #81	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #126	<LOD	<LOD	-	<LOD-0.106	0.0177	0.0396
PCB #169	<LOD-0.233	0.0778	0.110	<LOD	<LOD	-
<i>mono-ortho</i> PCBs						
PCB #105	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #114	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #118	1.42–1.92	1.61	0.222	<LOD-2.73	1.29	0.822
PCB #123	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #156	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #157	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #167	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #189	<LOD-1.28	0.486	0.568	<LOD-1.08	0.180	0.403
<i>di-ortho</i> PCBs						
PCB #170	<LOD-1.49	0.496	0.702	<LOD-1.29	0.214	0.479
PCB #180	1.65–2.55	2.06	0.372	1.25–2.31	1.70	0.349
PCDDs	<LOD	<LOD	-	<LOD-0.448	0.145	0.156
PCDFs	<LOD	<LOD	-	<LOD-0.070	0.0117	0.0261
ΣPCDD/Fs	<LOD	<LOD	-	<LOD-0.448	0.157	0.147
DL-PCBs	3.37–6.42	4.98	1.25	1.45–5.30	3.51	1.39
ΣPCDD/Fs+DL-PCBs	3.37–6.42	4.98	1.25	1.52–5.43	3.67	1.38

선 DB-5MS 칼럼을 이용하되 Fraction 1과 다른 GC 조건에서 4종의 DL-PCBs (#77, #81, #126, #169)와 5종의 PCDD/Fs (1,2,3,4,6,7,8-heptachlorodibenzodioxin (HpCDD), octachlorodibenzodioxin (OCDD), 1,2,3,4,6,7,8-heptachlorodibenzofuran (HpCDF), 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF, octachlorodibenzofuran (OCDF))를 정량분석하였고, SP-2331 칼럼에서 나머지 이성질체에 대한 정량분석을 실시하였다. PCDD/Fs 및 DL-PCBs의 정량분석은 동위원소 희석법에 따라 시험용액에서 검출된 대상물질과 내부 표준물질과의 상대반응계수를 측정하여 계산하였다. 정성 및 정량분석은 Jeol사의 DioK 정량분석프로그램을 이용하였고, 각 이

성체별 LOD를 Table 1에 나타내었다.

TEQ 및 식이섭취 노출량 예측. 각각의 시료에서 정량된 값은 WHO-TEFs를 적용하였으며, 각 이성체 잔류분석결과 중 불검출값인 <LOD를 0으로 추정하여 예측하는 Lower bound (LB)와 <LOD를 각 이성체의 LOD 값으로 추정하여 예측하는 Upper bound (UB)의 두가지 시나리오를 통해 TEQ를 계산하였다. 또한 곡류를 통한 다이옥신 노출량은 2008년 국민건강영양조사표(Korean CDC, 2008)의 한국인 1일 섭취량(g/day) 및 평균체중(55 kg)을 고려하여 노출량을 추정하였다.

Table 2 Continued

	Jeon-buk (n=5)			Jeon-nam (n=6)		
	Range	Average	SD	Range	Average	SD
2,3,7,8-TeCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8-PeCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,6,7,8-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8,9-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	<LOD-0.0465	0.0093	0.0186	<LOD-0.193	0.0624	0.0884
OCDD	<LOD-0.145	0.052	0.0647	<LOD-0.476	0.0792	0.177
2,3,7,8-TeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8-PeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
2,3,4,7,8-PeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,6,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
2,3,4,6,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	<LOD-0.0383	0.0077	0.0153	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<LOD-0.167	0.0334	0.0668	<LOD	<LOD	-
OCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD-0.403	0.0973	0.1518
<i>non-ortho</i> PCBs						
PCB #77	<LOD-0.199	0.109	0.0900	<LOD-0.332	0.166	0.101
PCB #81	<LOD	<LOD	-	<LOD-2.83	0.471	1.05
PCB #126	<LOD-0.286	0.0573	0.115	<LOD	<LOD	-
PCB #169	<LOD-0.406	0.141	0.176	<LOD	<LOD	-
<i>mono-ortho</i> PCBs						
PCB #105	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #114	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #118	<LOD-1.65	0.851	0.728	<LOD-1.55	1.14	0.526
PCB #123	<LOD-1.04	0.208	0.417	<LOD	<LOD	-
PCB #156	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #157	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #167	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #189	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
<i>di-ortho</i> PCBs						
PCB #170	<LOD-1.18	0.656	0.538	<LOD-1.04	0.343	0.4850
PCB #180	1.31–1.87	1.66	0.193	1.44–1.54	1.50	0.0320
PCDDs	<LOD-0.163	0.0616	0.0757	<LOD-0.657	0.142	0.241
PCDFs	<LOD-0.167	0.0411	0.0647	<LOD-0.403	0.0973	0.152
ΣPCDD/Fs	<LOD-0.184	0.103	0.0841	<LOD-0.657	0.239	0.231
DL-PCBs	1.61–5.00	3.68	1.16	2.83–4.34	3.62	0.509
ΣPCDD/Fs+DL-PCBs	1.61–5.16	3.78	1.23	2.83–4.63	3.86	0.594

결과 및 고찰

전국 8개 도에서 생산된 쌀 36종에 대해 PCDDs, PCDFs 및 DL-PCBs에 대한 잔류분석결과 PCDD/Fs 잔류량은 <LOD-3.67 pg/g wet weight (w.w.)로 조사되었으며, 강원, 경기, 경북, 경남지역에서는 PCDFs 잔류량이 PCDDs 보다 높은 경향을 나타내었다. 또한 전국 모든 지역의 쌀 시료에서 DL-PCBs 잔류량은 1.43–6.42 pg/g w.w.로 확인되었으며, PCDD/Fs 잔류량보다 높은 잔류특성을 보였다. 식용 쌀보리는 전남 및 전북지역 생산량이 2008년 기준 국내 전체 생산의 91%를 차지하고 있으며(Statistics Korea, 2011) 이 지역에서 2011년 생산된 보리

7점에 대한 PCDD/Fs 잔류량은 <LOD-0.722 pg/g w.w.이었고, DL-PCBs 잔류량은 0.827–4.68 pg/g w.w.이었다. 동일 지역에서 생산된 쌀의 다이옥신류 잔류특성과 같이, PCDDs 잔류량이 PCDFs 보다 높은 경향을 나타내었으며, DL-PCBs 잔류량은 쌀에서와 같이 PCDD/Fs 합산 잔류량보다 높은 것을 확인할 수 있었다. 각 지역에서 생산된 쌀과 보리의 총 다이옥신류 잔류량은 최소 1.14 pg/g w.w.에서 최대 6.42 pg/g w.w.이었고, 각 지역별 평균 잔류량은 2.98–4.98 pg/g w.w.으로 조사되었다. (Table 2, 3) 동일지역에서 생산된 쌀과 보리의 PCDDs와 PCDFs 잔류량을 비교한 결과, 전남과 전북 쌀의 잔류 검출량은 3.78–3.86 pg/g w.w., 보리의 잔류 검출량은 3.00–3.24 pg/g

Table 2 Continued

	Gyeong-buk (n=6)			Gyeong-nam (n=4)		
	Range	Average	SD	Range	Average	SD
2,3,7,8-TeCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8-PeCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,6,7,8-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8,9-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	<LOD-0.0768	0.0243	0.0344	<LOD	<LOD	-
OCDD	<LOD-0.207	0.0344	0.0770	<LOD	<LOD	-
2,3,7,8-TeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8-PeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
2,3,4,7,8-PeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,6,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
2,3,4,6,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	<LOD-0.146	0.0243	0.0542	<LOD-0.172	0.0429	0.0743
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<LOD-0.423	0.0779	0.155	<LOD-1.51	0.378	0.654
OCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD-2.16	0.539	0.933
<i>non-ortho</i> PCBs						
PCB #77	<LOD-0.147	0.0445	0.0634	<LOD-0.150	0.0723	0.0723
PCB #81	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #126	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #169	<LOD-0.261	0.0637	0.0986	<LOD	<LOD	-
<i>mono-ortho</i> PCBs						
PCB #105	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #114	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #118	<LOD-1.23	0.767	0.546	0.919–1.42	1.21	0.183
PCB #123	<LOD-1.20	0.201	0.449	<LOD	<LOD	-
PCB #156	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #157	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #167	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #189	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
<i>di-ortho</i> PCBs						
PCB #170	<LOD-1.30	0.217	0.486	<LOD-1.00	0.251	0.434
PCB #180	1.30–1.63	1.53	0.113	1.45–1.84	1.64	0.168
PCDDs	<LOD-0.283	0.0587	0.104	<LOD	<LOD	-
PCDFs	<LOD-0.423	0.102	0.153	<LOD-3.67	0.959	1.56
ΣPCDD/Fs	<LOD-0.429	0.161	0.189	<LOD-3.67	0.959	1.56
DL-PCBs	1.43–4.02	2.82	0.754	2.42–4.19	3.17	0.653
ΣPCDD/Fs+DL-PCBs	1.49–4.45	2.98	0.859	2.42–7.85	4.13	2.17

g w.w. 으로 작물특성 및 재배기간에 따른 잔류량 차이는 크게 관찰되지 않았다. 전남과 전북 두 개 지역에서 총 잔류량 대비 잔류 기여율은 공통적으로 DL-PCBs > PCDDs > PCDFs 순서로 확인되었고, 이러한 경향은 쌀과 보리에서도 동일하게 관찰되었다. 이들 다이옥신류의 작물 노출경로는 대기 및 작물재배 토양을 통한 흡수이행이 고려되고 있으며, 이에 대해 Uegaki 등 (2006) 은 쌀에 대한 다이옥신류의 흡수이행 경로를 생육초기 단계는 토양잔류 PCDD/Fs 및 DL-PCBs에 의한 흡수이행 기여도가 높고, 수확기로 접어들수록 대기를 통한 흡수이행 기여도가 높다고 설명하고 있다. 즉, 국내 농경지 대기(Kwon 등 2006; Kim 2009) 및 토양(Kwon 등, 2006)에서 잔류량이 높은

OCDD, HpCDD 및 OCDF가 이번 쌀과 보리의 잔류분석 연구에서도 확인되어, 다이옥신류 고잔류가 예상되는 소각장등의 다이옥신류 배출시설 인근지역의 농경지에 대한 PCDD/Fs 및 DL-PCBs의 모니터링이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 전국 8개 도에서 생산된 쌀 시료의 PCDD/Fs 이성질체별 잔류기여율이 동일하거나 유사하지 않고 재배 지역별로 상이한 것은 국내 대기의 PCDD/Fs 잔류패턴과 대기오염량이 시기적, 국지적 요인에 따라 큰 차이를 나타내기 때문인 것으로 판단된다(Shin 등, 2011).

다이옥신류는 그 화학종의 특성에 따라 인체 독성영향이 다르게 나타나며, 이러한 연구결과를 종합하여 WHO에서 1998년

Table 3 Concentration of PCDDs, PCDFs and DL-PCBs in Korean barley (pg/g w.w.)

	Jeon-nam (n=4)			Jeon-buk (n=3)		
	Range	Average	SD	Range	Average	SD
2,3,7,8-TeCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8-PeCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,6,7,8-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8,9-HxCDD	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	<LOD-0.0938	0.0404	0.0478	<LOD-0.0948	0.0600	0.0522
OCDD	<LOD-0.227	0.128	0.113	<LOD-0.419	0.140	0.242
2,3,7,8-TeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8-PeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
2,3,4,7,8-PeCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,6,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
2,3,4,6,7,8-HxCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD-0.0446	0.0149	0.0257
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
OCDF	<LOD-0.0936	0.0234	0.0468	<LOD-0.200	0.121	0.106
<i>non-ortho</i> PCBs						
PCB #77	0.0797–0.354	0.197	0.123	<LOD-0.445	0.148	0.257
PCB #81	<LOD-0.0406	0.0102	0.0203	<LOD	<LOD	-
PCB #126	<LOD-0.492	0.149	0.234	<LOD	<LOD	-
PCB #169	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
<i>mono-ortho</i> PCBs						
PCB #105	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #114	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #118	<LOD-1.56	1.08	0.742	<LOD-2.22	1.37	1.20
PCB #123	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #156	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #157	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #167	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
PCB #189	<LOD	<LOD	-	<LOD	<LOD	-
<i>di-ortho</i> PCBs						
PCB #170	<LOD-1.04	0.260	0.521	<LOD	<LOD	-
PCB #180	<LOD-1.82	1.07	0.859	1.25–1.49	1.36	0.123
PCDDs	0.105–0.314	0.169	0.110	<LOD-0.511	0.199	0.263
PCDFs	<LOD-0.0936	0.0234	0.0468	<LOD-0.208	0.136	0.118
ΣPCDD/Fs	0.105–0.388	0.233	0.140	<LOD-0.722	0.360	0.314
DL-PCBs	0.827–4.68	2.77	1.72	1.49–3.66	2.88	1.20
ΣPCDD/Fs+DL-PCBs	1.14–5.06	3.00	1.75	2.21–3.82	3.24	0.888

에 다이옥신류의 화학종별 TEFs를 발표하였고, 2005년에 TEFs를 수정 보완하였다(van den Berg 등, 2006). 본 연구에서는 2005년 발표된 WHO TEFs 값을 반영하여 TEQ를 산정하였다. 쌀의 각 지역별 TEQ 값은 LB 시나리오의 경우 0.0009–0.0220 pg-TEQ/g w.w.로 확인되었으며, 평균 TEQ는 0.0056 pg-TEQ/g w.w.로 나타났고(Table 4), 이 결과는 2000년 Kim 등(2000)이 보고한 0.0123 pg-TEQ/g와 비교하여 50% 수준이었으며, 2010년 Oh 등(2010)이 보고한 자료와 같이 백미 중 다이옥신 잔류량 <0.01 pg-TEQ/g w.w.와 유사한 결과로 확인되었다. 그리고, UB 시나리오의 경우 쌀의 각 지역별 TEQ는 0.0630–0.0830 pg-TEQ/g w.w.이었으며, 평균 잔류량은 0.0661 pg-TEQ/g w.w.

이었다. 또한, 보리의 잔류 다이옥신 TEQ는 LB시나리오의 경우 전북과 전남이 각각 0.0009 pg-TEQ/g w.w., 0.0154 pg-TEQ/g w.w.로 나타났으며, UB시나리오의 경우 0.0629 pg-TEQ/g w.w.와 0.0725 pg-TEQ/g w.w.을 각각 나타내었다(Table 4). 전국 8개 지역 쌀의 다이옥신류 잔류량은 LB시나리오를 기준으로 한 2008년 중국 Shenzhen 지역 곡류 중 다이옥신 TEQ 범위(0.0053–0.29 pg-TEQ/g w.w., 중위값 0.022 pg-TEQ/g w.w.) 보다는 낮은 수준인 것으로 해석된다(Zhang 등, 2008). 또한, 이성질체 그룹별(PCDD/Fs, DL-PCBs) 잔류기여도 평가에서 LB 시나리오의 경우 두 그룹의 다이옥신류에 대한 평균 잔류기여도 차이가 0.0006 pg-TEQ/g w.w.로 크지 않았으나, UB시나리

Table 4 The average TEQ concentration of PCDDs, PCDFs and DL-PCBs in Korean grains, (pg-TEQ/g w.w.)

	Province	PCDD/Fs		DL-PCBs		Total TEQ	
		LB*	UB [†]	LB	UB	LB	UB
Rice	Gangwon	0.0220	0.0697	0	0.0133	0.0220	0.0830
	Gyeong-gi	0.0021	0.0508	0.0090	0.0189	0.0111	0.0697
	Chung-buk	0	0.0489	0.0024	0.0113	0.0024	0.0602
	Chung-nam	0.0012	0.0500	0.0018	0.0134	0.0030	0.0634
	Jeon-buk	0.0005	0.0493	0.0100	0.0200	0.0105	0.0694
	Jeon-nam	0.0007	0.0495	0.0002	0.0134	0.0009	0.0630
	Gyeong-buk	0.0013	0.0500	0.0019	0.0142	0.0032	0.0642
	Gyeong-nam	0.0044	0.0532	0	0.0133	0.0044	0.0665
	Average	0.0025	0.0513	0.0031	0.0148	0.0056	0.0661
Barley	Jeon-buk	0.0008	0.0495	0.0001	0.0133	0.0009	0.0629
	Jeon-nam	0	0.0493	0.0150	0.0232	0.0154	0.0725
	Average	0.0006	0.0494	0.0086	0.0190	0.0092	0.0684

*LB was lower bound estimation, [†]UB means upper bound estimation (<LOD = LOD)

Table 5 Estimated daily intake (EDI) to the dioxins of Korean grains

	Province	Daily Intake (g)*	Daily intake of dioxins (pg-TEQ/day/person)		Estimated intake of dioxins (pg-TEQ/kg b.w./day)	
			LB [†]	UB [§]	LB	UB
Rice	Gangwon	183.1	4.04	15.3	0.0735	0.277
	Gyeong-gi		2.04	12.8	0.0371	0.233
	Chung-buk		0.441	11.1	0.0080	0.201
	Chung-nam		0.551	11.7	0.0100	0.212
	Jeon-buk		1.93	12.8	0.0351	0.232
	Jeon-nam		0.165	11.6	0.0030	0.210
	Gyeong-buk		0.588	11.8	0.0107	0.214
	Gyeong-nam		0.808	12.2	0.0147	0.222
	Average		1.03	12.1	0.0187	0.221
Barley	Jeon-buk	5.8	0.0052	0.364	0	0.0066
	Jeon-nam		0.0893	0.420	0.0016	0.0076
	Average		0.0534	0.397	0.0010	0.0072
Total TEQ			1.08	12.5	0.0197	0.228

*Daily intake values were referenced from Korea National Health and Nutrition Examination Survey in 2007 (Korean CDC, 2008), [†]LB means lower bound estimation (<LOD = zero), [§]UB means upper bound estimation (<LOD = LOD)

오의 경우 PCDD/Fs의 TEQ 평균 기여도가 DL-PCBs 보다 0.0365 pg-TEQ/g w.w. 높은 것을 확인할 수 있었다.

대한민국 성인 쌀 일일섭취량 183.1 g을 기준으로 각 지역 생산 쌀을 통한 다이옥신 섭취량을 추정할 경우 LB시나리오의 경우 0.165–4.04 pg-TEQ/day/person 범위를 나타내었으며, 평균섭취량은 1.03 pg-TEQ/day/person으로 나타났다. 이는 Kim 등 (2000)이 보고한 성인평균 노출량 4.335 pg-TEQ/day/person의 24% 수준이었다. 또한 보리를 통한 다이옥신류 일일 섭취노출량은 0.0534 pg-TEQ/day/person이었으며, 이는 쌀과 보리를 통한 다이옥신류 일일 섭취노출량이 각각 0.0187 pg-TEQ/kg body weight (b.w./day)과 0.0010 pg-TEQ/kg b.w./day으로 식품의약품 안전청에서 권고하는 TDI 4 pg-TEQ/kg b.w./day에 대비하여 각각 0.46%와 0.03% 수준이었으며, 한국인의 2010년 식품을 통한 다이옥신 전체 노출량 24.46 pg-TEQ/day/person (Oh 등, 2010) 을 기준으로 할 때 쌀과 보리의 식품섭취 기여율이 각각 4.2와 0.2%인 것으로 확인되었다(Table 5). 또한, UB시나리오를

기준으로 쌀과 보리의 다이옥신류 섭취노출량을 최악의 경우로 추정하여 예측하더라도, 각각 0.221 pg-TEQ/kg b.w./day 와 0.0072 pg-TEQ/kg b.w./day로 TDI 대비 5.5%와 0.18%로, 크게 높지 않음을 알 수 있었다.

초 록

PCDD/Fs 및 DL-PCBs는 농식품 잔류 유해물질 중 높은 생물독성 및 생물농축성으로 안전성 우려가 높아 많은 연구자들이 관심을 갖는 유해물질들이다. 하지만, 대부분의 오염조사연구는 지방함유량이 높은 육류 및 수산물을 중심으로 이루어지고 있어, 다소비 농산물인 곡류를 대상으로 한 다이옥신 잔류분석 연구결과가 부족하여 식이섭취를 통한 다이옥신류 노출평가를 수행하는데 어려움이 있다. 본 논문에서는 17종의 PCDD/Fs 및 14종의 DL-PCBs에 대하여 2010년산 쌀과 2011년산 보리에 대

한 잔류 분석 및 이를 통한 한국인의 일일 섭취노출량을 조사하였다. 전국 8개 도에서 채취한 36점의 백미시료와 전남 및 전북에서 채취한 7점의 보리시료에 대한 잔류분석결과 백미 중 다이옥신류의 각 도별 평균 잔류량은 2.98–4.98 pg/g w.w.이었으며, 보리의 다이옥신류 평균 잔류량은 3.00–3.24 pg/g w.w.로 확인되었다. 쌀과 보리를 통한 국민 1인당 다이옥신 섭취노출량은 1.03 pg-TEQ/day/person와 0.0534 pg-TEQ/day/person 수준이었고, 이를 한국인 평균체중 55 kg을 기준으로 환산할 경우 Lower bound 시나리오의 경우 TDI대비 0.46와 0.03%였으며, Upper bound 시나리오의 경우 5.5와 0.18%로 국내산 쌀과 보리를 통한 다이옥신류 노출기여도는 미미한 것으로 판단된다.

Keywords grain · Korea · polychlorinated biphenyls · polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins · polychlorinated dibenzofurans

감사의 글 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (PJ005302) 및 국립농업과학원 시험연구사업 (PJ008468)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Baars AJ, Bakker MI, Baumann RA, Boon PE, Freijer JJ, Hoogenboom LAP et al. (2004) Dioxins, dioxin-like PCBs and non-dioxin-like PCBs in foodstuffs: occurrence and dietary intake in the Netherlands. *Toxicol Lett* **151**, 51–61.
- Bernard A, Hermans C, Broeckaert F, De Poorter G, De Cock A, and Houins G (1999) Food contamination by PCBs and dioxins. *Nature* **401**, 231–2.
- Choi G-H, Choi D-S, Hong S-M, Kwon O-K, Eun HS, Kim JH et al. (2012) Investigation on polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, polychlorinated dibenzofurans and dioxin-like polychlorinated biphenyls in Korean fruits and dietary intake estimation. *J Korean Soc Appl Biol Chem* **55**, 423–7
- Edwards R (2004) A fishy tale of salmon, dioxins and food safety. *New Scientist* **181**, 8.
- European Commission (2000) Scientific Committee on Food: Opinion on the Risk Assessment of Dioxins and Dioxin-like PCBs in Food : Adopted on 22 November 2000. Brussels, Belgium.
- Grassi P, Fattore E, Generoso C, Fanelli R, Arvati M, and Zuccato E (2010) Polychlorobiphenyls (PCBs), polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs) and dibenzofurans (PCDFs) in fruit and vegetables from an industrial area in northern Italy. *Chemosphere* **79**, 292–8.
- Guruge KS, Seike N, Yamanaka N, and Miyazaki S (2005) Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, -dibenzofurans, and biphenyls in domestic animal food stuff and their fat. *Chemosphere* **58**, 883–9.
- Kim K-S (2009) Characteristics of contamination and fate for PCDD/Fs in ambient air, Cheongju. *J Korean Soc Environ Eng* **31**, 294–9.
- Kim KS, Kim JG, and Kim MY (2000) Estimation of dietary daily intake of PCDDs/PCDFs from Korean retail food. *J Korean Soc Environ Eng* **22**, 1345–55.
- Kim M, Choi SW, and Kim DG (2008) Decreasing concentrations of PCDD/Fs in pork based on Korean monitoring in years 2002 and 2005. *Food Addit Contam A* **25**, 1278–82.
- Kim M, Kim S, Yun SJ, Kim D-G, and Chung G-S (2007) Background levels and dietary intake of PCDD/Fs in domestic and imported meat in South Korea. *Chemosphere* **69**, 479–84.
- Korean CDC (2008) Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES IV) 2007 - Health Examination. p. 116, Ministry of Health and Welfare, Seoul.
- Kwon O-K, Eun H-S, Choi D-S, Hong S-M, Kwon H-Y, and Choi J-H. (2006) Comparative study of PCDDs/DFs concentration in crop and its cultural environment. *Korean J Pestic Sci* **10**, 91–8.
- MIFAFF (2010) 2010 Food, agriculture, forestry and fisheries statistics book (Report No. 11-1541000-000314-10), p. 279, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF), Gwacheon, Korea.
- Moon HB, Kannan K, Choi HG, An YR, Choi SG, Park JY et al. (2010) Concentrations and accumulation features of PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs in cetaceans from Korean coastal waters. *Chemosphere* **79**, 733–9.
- Oh KS, Suh J, Paek OJ, Kim M, and Lee K-H (2010) Exposure assessment of dioxins through foods, *Anal Sci Tech* **23**, 595–606.
- Park YJ, Kim HR, Lee MJ, Lee W-O, Lee JS, Chung KH et al. (2010) Early life stage toxicity for 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin (TCDD) in Crucian carp (*Carassius auratus*). *Environ Health Toxicol* **25**, 241–51.
- Parzefall W (2002) Risk assessment of dioxin contamination in human food. *Food Chem Toxicol* **40**, 1185–9.
- Safe SH (1986) Comparative toxicology and mechanism of action of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans. *Annu Rev Pharmacol Toxicol* **26**, 371–99.
- Shin SK, Jin GZ, Kim WI, Kim BH, Hwang SM, Hong JP et al. (2011) Nationwide monitoring of atmospheric PCDD/Fs and dioxin-like PCBs in South Korea. *Chemosphere* **83**, 1339–44.
- Statistics Korea (2011) 2010 Crop production statistics (Report No. 11-1240000-000512-10), p. 102, Daejeon, Statistics Korea.
- Sutter TR and Greenlee WF (1992) Classification of members of the Ah gene battery. *Chemosphere* **25**, 223–6.
- Uegaki R, Seike N, and Otani T (2006) Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, dibenzofurans, and dioxin-like polychlorinated biphenyls in rice plants: Possible contaminated pathways. *Chemosphere* **65**, 1537–43.
- van den Berg M, Birbaum LS, Denison M, De Vito M, Farland W, Feeley M et al. (2006) The 2005 World Health Organization reevaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. *Toxicol Sci* **93**, 223–41.
- Zhang J, Jiang Y, Zhou J, Fang D, Jiang J, Liu G et al. (2008) Concentrations of PCDD/PCDFs and PCBs in retail foods and an assessment of dietary intake for local population of Shenzhen in China. *Environ Int* **34**, 799–803.