

기능성 쌀의 잔류농약 및 이산화황 안전성 실태조사

이유진* · 박명기 · 김기유 · 박은미 · 강흥규 · 임지현
조옥현 · 김윤호 · 이선영 · 용금찬 · 윤미혜
경기도보건환경연구원 구리농수산물검사소

Monitoring and Safety Assessment of Pesticide Residues and Sulfur Dioxide on Functional Rice Products

You-Jin Lee*, Myung-Ki Park, Ki-Yu Kim, Eun-Mi Park, Heung-Gyu Kang, Ji-Hyun Lim, Wook-Hyun Cho, Youn-Ho Kim, Sun-Young Lee, Kum-Chan Yong, and Mi-Hye Yoon
Guri Agro-fishery Products Inspection Center, Gyeonggi-Do Institute of Health and Environment, Guri, Korea
(Received June 26, 2017/Revised July 10, 2017/Accepted October 19, 2017)

ABSTRACT - This study was conducted to monitor the current status of pesticide residues and sulfur dioxide in a total of 91 functional rice products from February to October 2016. Multi class pesticide multiresidue methods of 220 pesticides was performed by the GC/ECD, GC/NPD, GC/TOF/MS, LC/PDA, and LC/FLD. As a result of analysis, the pesticides were detected in 3 samples, representing a detection rate of 3.3%. The kind of pesticides was propiconazole and isoprothiolane used for germicide in agriculture or plant growth regulator purposes. The detected levels were 0.0340~0.0566 mg/kg, which were under the MRL (Maximum Residues Limits). The contents of sulfur dioxide in 91 samples by the Monier-Williams method were not detected. Risk assessment of pesticides evaluated using human health exposure with the ratio of EDI (Estimated daily intake) to ADI (Acceptable daily intake). %ADI (the ratios of EDI to ADI) were 0.24~1.25% with safety level.

Key words : Pesticide Residues, Functional Rice Products, Multi Class Pesticide Multiresidue Methods, Sulfur Dioxide, Risk Assessment

쌀은 우리의 주된 식량자원이었으나 식생활의 서구화 추세에 따라 1인당 연간 쌀 소비량이 1995년 106.5 kg에서 2005년 80.7 kg으로 2015년 62.9 kg 수준으로 감소하고 있다¹⁾. 또한 2015년 쌀 시장 전면 개방으로 쌀 수급안정과 농가소득 향상에 부담을 주고 있어 정부에서도 쌀 가공산업 육성을 통한 쌀 소비 확대 정책을 추진하고 있다²⁾.

반면 국민소득이 증가하고 생활수준이 향상됨에 따라 1인당 연간 잡곡 소비량이 1995년 0.5 kg에서 2015년 1.1 kg으로 10년 새 두 배 이상 증가하는 등 소비자들의 건강 지향적 움직임이 확대되어 영양 및 건강기능성이 강화된 새로운 쌀의 개발이 요구되고 있다^{1,3)}. 2015년까지 농촌진흥청 국립식량과학원의 국가품종목록에 등재된 가공·기능성 쌀 품종은 모두 87종이며⁴⁾, 부가가치를 높인 쌀 가

공기술의 특허출원이 대폭 증가하고 있는 추세다⁵⁾.

기능성 쌀이라 함은 쌀의 주 기능 외에 잘못된 식생활에서 기인한 각종 성인병의 예방 및 치료에 유효한 각종 기능성 물질을 첨가하거나 일부 영양성분을 강화하고 밥을 지을 때 간편성을 추구한 새로운 형태의 쌀 제품군으로 정의할 수 있다³⁾. 기능성 쌀은 생산과정 상 두 부류로 구분할 수 있다. 첫째, 품종개량형 쌀로 유전자 조작 등 생명공학 기법을 이용하여 부가적 기능이 발현되는 벼를 생산하는 것이다²⁾. 이 방법으로 생산되는 쌀인 고아미 2호는 식이섬유 함량이 높고 소화율이 낮아서 중성지방을 줄이고 혈당상승을 억제하여 당뇨개선 및 다이어트 효과가 있는 것으로 알려져 있고, 하이아미는 필수아미노산 함량이 보통 쌀보다 30%이상 고루 증가한 품종이며, 큰눈 벼는 GABA 함량이 높아 학습 및 집중력 강화에 효과가 있는 품종이다⁴⁾. 둘째, 가공형 쌀로 도정과정에서 유용한 기능성 물질을 코팅한 코팅쌀, 유용 미생물 배양액을 집중하여 배양 가공한 발효쌀, 종자를 수침시켜 발아 건조한 발아쌀 등이 있다^{2,5)}. 코팅쌀은 씻은 쌀에 안전성이 검

*Correspondence to: You-Jin Lee, Guri Agro-fishery Products Inspection Center, Gyeonggi-Do Institute of Health and Environment, Guri 11916, Korea
Tel: 82-31-250-5059, Fax: 82-31-569-0212
E-mail: lyj2868@gg.go.kr

증된 기능성 물질을 첨가하는 공법을 사용하여 녹차, 클로렐라, 강황, 약초성분, 꾸찌뿌 추출물, 유산균 등 여러 가지 성분을 첨가한 쌀의 특허출원이 증가하고 있다. 또한 버섯 배양액을 접종하여 발효한 버섯쌀은 항암성 버섯류의 효능을 직접 부여하였으며⁵⁾, 홍국쌀은 누룩곰팡이 (*Monascus purpureus*)를 접종하고 배양한 쌀로 발효과정에서 분비되는 콜레스테롤 합성 저해제인 monacolin-K (lovastatin) 성분이 혈액 콜레스테롤 저하 작용이 있는 것으로 알려져 있다^{6,8)}. 일반적으로 현미를 받아시킨 발아쌀은 다양한 효소의 활성으로 인하여 γ -aminobutyric acid (GABA), ferulic acid, arabinoxylan, inositol 등의 기능성 성분들이 증가되는 것으로 알려져 있다⁹⁾.

기능성 쌀의 가공처리 과정에서 선택이나 선도유지를 위한 상품성, 저장성, 유통기한 연장 등의 목적으로 이산화황을 첨가할 가능성과 발아침지 시 부패방지의 목적으로 중자소독제 등의 농약을 사용할 가능성이 제기되었다. 이산화황은 식품의 부패방지, 표백, 갈변방지 및 항산화 등의 목적으로 사용되는 첨가물이며, 현재 우리나라 식품첨가물 공전에는 무수아황산, 아황산나트륨, 산성아황산나트륨, 차아황산나트륨, 메타중아황산나트륨, 메타중아황산칼륨의 6종 아황산염류가 지정 고시되어 사용되고 있다^{10,11)}. 그러나 아황산염류의 사용기준은 박고지, 당밀 및 물엿, 엿, 과실주, 천연과즙, 건조과실류, 곤약류, 새우살, 설탕 등에 한하여 각각 사용량이 규정되어 있다¹²⁾. 또한 2004년 중국산 찰쌀에서 변색된 묵은쌀의 표백을 목적으로 첨가된 이산화황이 다량 검출되어 이슈가 되었다¹³⁾.

지금까지 기능성 쌀의 성분 및 효능에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 본 연구의 주제인 기능성 쌀을 대상으로 한 잔류농약 실태보고는 드문 실정이다. 따라서 본 연구에서는 2016년 경기도 내 대형마트 및 재래시장에서 유통 중인 기능성 쌀 91건을 수거하여 농약 220종과 이산화황의 잔류실태를 조사하고 위해성평가를 수행함으로써 기능성 쌀의 안전성을 확인하고, 소비자에게 정보를 제공하고자 한다.

Materials and Methods

시료

2016년 2월부터 10월까지 경기도 내(가평, 고양, 남양주, 동두천, 양주, 의정부, 파주) 대형유통매장과 재래시장 등에서 유통되고 있는 기능성 쌀 91건을 대상으로 실험하였다. 수거 검체 모두 기능성물질을 첨가 또는 영양성분을 강화한 기능성 쌀로서 개량 특성이 잘 드러나도록 생산 공정에 따라 품종개량형 쌀 32건, 코팅쌀 21건, 발효쌀 5건, 발아쌀 33건으로 분류하였다. 또한 시료는 수거 즉시 신속하게 운반하여 24시간 내에 전처리 과정을 수행 하였다.

분석대상 항목 및 시약

분석대상 항목은 경기도보건환경연구원 수원 농수산물 검사소의 잔류농약 분석항목 220종(2016년 현재) 및 이산화황(sulfur dioxide)을 대상으로 하였다.

GC (gas chromatography)/ECD (electron capture detector), NPD (nitrogen phosphorus detector)와 LC (liquid chromatography)/PDA (photodiode array detector), FLD (fluorescence detector)로 분석 가능한 220종(ECD 분석항목: 82종, NPD: 75종, UV: 51종, FLD: 12종)의 농약 표준물질은 Dr. Ehrenstorfer (Germany) 제품을 사용하였다.

잔류농약 분석에 사용된 시약은 acetonitrile (Burdick & Jackson, USA), dichloromethane (Burdick & Jackson, USA), acetone (Wako, Japan), hexane (Wako, Japan), methanol (Wako, Japan) 등을 사용하였고, 그 외의 시약들은 모두 잔류농약 분석용 및 GR (guaranteed reagent)급을 사용하였다. 시료의 정제과정에서 SPE (solid phase extraction)는 florisil cartridge (1000 mg, 6 mL, Agilent, USA), amino-propyl cartridge (1000 mg, 6 mL, Agilent, USA)를 사용하였다.

이산화황(sulfur dioxide) 분석에 사용한 시약은 GR (guaranteed reagent)급을 사용하였고 증류수는 재증류 후 이온을 제거시킨 탈이온수를 사용하였다.

잔류농약 분석방법

시료는 식품공전(4.1.2.2)의 다중농약다성분 분석법(Multi class pesticide multiresidue methods)-제2법에 따라 분석하였다¹⁴⁾. 검체 1 kg을 대형분쇄기(Robot coupe, BLIXER 5 V.V.A, USA)로 분쇄하여 분쇄시료 약 50 g을 정밀하게 달았다. 증류수를 시료무게의 2배 수준으로 넣은 후 1시간 이상 정치 후 acetonitrile 100 mL를 가하여 2000 rpm으로 2분간 균질(OMNI, OMNI Macro ES, USA)하였다. 균질물을 여과한 여액은 sodium chloride 15 g이 담긴 분액갈때기에 넣어 1분간 심하게 흔들어서 층 분리 하였다. Acetonitrile층(상층)을 20 mL 취하여 40°C 이하 수욕상에서 정제된 공기를 불어넣어 1차 농축하였다. 이 때 시료의 양이 100 mL 이하이고 수량이 많은 경우 농축에 적합한 가스농축기(Caliper Life Sciences, Turbo Vap LV, USA)를 사용하였다.

정제과정은 GC분석과 LC분석을 나누어 처리하였다. GC 분석은 florisil cartridge를 hexane 5 mL와 20% acetone/hexane 5 mL로 활성화하고 20% acetone/hexane 4 mL에 녹인 시료액을 cartridge 상단에 넣고 용출시켜 시험관에 받았다. 다시 cartridge에 20% acetone/hexane 5 mL를 용출하여 같은 시험관에 받아 40°C 이하 수욕상에서 정제된 공기를 불어넣어 2차 농축했다. 용매가 완전히 제거된 시험관에 20% acetone/hexane 2 mL를 넣어 녹이고 0.2 μ m PTFE filter (Whatman, USA)로 여과하여 시험 용액으로 사용했다. LC분석은 amino-propyl cartridge를 dichloromethane

Table 1. Analytical condition of GC/ECD, GC/NPD and GC/TOF/MS

Detector type	ECD			NPD			GC/TOF/MS			
Column	DB-5 (Agilent, DB-5, USA) (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)			DB-35 (Agilent, DB-35, USA) (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)			RTX-5MS (RESTEK, RTX-5MS, USA) (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)			
	DB-1701 (Agilent, DB-1701, USA) (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)			DB-5 (Agilent, DB-5, USA) (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)						
	°C/min	next	hold	°C/min	next	hold	°C/min	next	hold	
Oven temp.	initial	150	1		130	1		60	2	
	ramp1	5	200	3	8	180	1	20	180	0
	ramp2	3	230	3	4	210	3	10	300	8
	ramp3	25	275	21	10	300	8			
Injector temp.	270°C			260°C			250°C			
Detector temp.	300°C			320°C			260°C			
Gas flow	N ₂ 60 mL/min			N ₂ 5.0 mL/min H ₂ 3.5 mL/min Air 60 mL/min			He 1.5 mL/min			

Table 2. Analytical condition of UPLC/PDA and HPLC/FLD

Detector type	UPLC/PDA			HPLC/FLD		
Column	BEH C18 (Waters, BEH C18, Ireland) (2.1 × 100 mm, 1.7 μm)			Carbamate (Waters, Carbamate Analysis, Ireland) (3.9 × 150 mm, 5.0 μm)		
Flow rate	0.4 mL/min			1.0 mL/min		
Detector	UV 254 nm			Xλ : 340 nm Eλ : 455 nm		
	Time	A(%)	B(%)	Time	A(%)	B(%)
		85	15		40	60
	1	95	5	2.5	40	60
	3	75	25	3	50	50
	5	65	35	10	70	30
	7	45	55	10.5	70	30
	8.5	15	85	11.5	20	80
	9.5	15	85	12	40	60
	10	15	85			
	12	0	100			
	A = 15% ACN B = 100% ACN			A = Water:MeOH:ACN = 2:4:4 B = 12% ACN		

5 mL와 1% methanol/dichloromethane 4 mL로 활성화하고 1% methanol/dichloromethane 4 mL에 녹인 시료액을 cartridge 상단에 넣고 용출시켜 시험관에 받았다. 다시 cartridge에 1% methanol/dichloromethane 7 mL를 용출하여 같은 시험관에 받아 40°C 수욕상에서 정제된 공기를 불어넣어 2차 농축했다. 용매가 완전히 제거된 시험관에 acetonitrile 2 mL를 넣어 녹이고 시험용액으로 사용했다.

GC/ECD와 GC/NPD (Agilent, 7890A, USA)를 사용하여 유기염소(organophosphorous)계, 유기인(organochlorine)계 및 트리아졸(triazole)계 잔류농약을 분석하였고 잔류농약이 검출된 시료는 GC/TOF/MS (Leco, PEGASUS HT, Singa-

pore)로 성분을 확인하였다. 벤조일우레아(benzoylurea)계와 카바메이트(carbamate)계 잔류농약은 UPLC/PDA (Waters, Acquity, USA)와 HPLC/FLD (Waters, Alliance system M2695, USA)를 사용하였으며, 기기 분석조건은 Table 1, 2와 같다.

검출된 성분 중 propiconazole은 식품공전(4.1.3)의 다성분 분석법(multiresidue methods)중 4.1.3.9에 따라 정량시험을 하였다¹⁵⁾.

이산화황(sulfur dioxide) 분석은 식품공전 제9. 일반시험법 2. 식품 중 식품첨가물시험법 2.5 아황산, 차아황산 및 그 염류의 2.5.2 정량시험 가. Monier-Williams 변법에 따

라 실험하였다¹⁶⁾.

회수율 및 검출한계

농약성분의 회수율은 잔류농약 분석에서 검출된 2종의 농약을 대상으로 식품공전 잔류농약 분석법 실무해설서에 따라 실험하였다.

잔류농약이 검출되지 않은 시료에 표준물질을 약 0.15 mg/kg 되도록 용액을 조제하여 첨가한 뒤 60분 정도 방치 후 시료 분석과 같은 방법으로 3반복 처리하여 측정하였다.

검출한계(limits of detection, LOD)와 정량한계(limits of quantitation, LOQ)는 ICH에서 제시한 아래 산출방법에 따라 구하였다¹⁷⁾.

$$\begin{aligned}
 &LOD = 3.3 \delta/S \\
 &LOQ = 10 \delta/S \\
 &\delta : \text{The standard deviation of the response} \\
 &S : \text{The slope of the calibration curve}
 \end{aligned}$$

위해성평가

시험한 농산물에서 검출된 농약의 위해성 평가는 검출량을 바탕으로 일일섭취추정량(estimated daily intake: EDI)과 농약의 일일섭취허용량(acceptable daily intake: ADI)을 이용하여 %ADI를 산출하여 평가하였으며, 산출 식은 아래와 같다¹⁸⁾. 그리고 농약의 일일최대섭취허용량(maximum permissible intake: MPI)은 ADI에 한국인 평균 체중인 55 kg (KFDA 2004)을¹⁹⁾ 곱하여 산출하였다.

$$\begin{aligned}
 &EDI = \text{평균잔류량 (mg/kg)} \times \text{일일식품섭취량 (g/day)/1,000} \\
 &MPI = ADI \times 55 \text{ kg} \\
 &\%ADI (\text{Hazard index}) = (EDI/ADI) \times 100 \\
 &\%MPI = (EDI/MPI) \times 100
 \end{aligned}$$

Results and Discussion

잔류농약 및 이산화황 분석결과

경기도에서 유통되고 있는 기능성 쌀 91건을 수거하여 잔류농약 검사를 실시한 결과는 Table 3과 같다. 총 91건의 시료 중 3건(3.3%)의 시료에서 잔류농약이 검출되었으며, 검출된 시료는 발아찰현미 및 흑찰현미였다. 일반적으로 쌀은 정백미, 7분도미 및 5분도미로 구분하고 각각 현미중량의 93%, 95% 및 97% 이하로 도정하며, 이 과정에

서 낱알에 잔류하던 농약이 대부분 제거 된다^{20,21)}. 따라서 벼에서 왕겨만을 벗겨낸 현미의 특성상 검출 확률이 높고, 수거 검체 중 현미의 비율이 56%로 가장 높기 때문인 것으로 사료된다.

분석한 220종 농약 중 살균제 농약인 propiconazole과 살균제 및 식물생장조절제 농약인 isoprothiolane이 검출되었다. 국내 잔류허용기준(MRL)을 초과한 시료는 없었으며, propiconazole 및 isoprothiolane의 최대 검출량인 0.0340, 0.0566 mg/kg에 대하여 MRL 대비 각각 34%, 2.8% 이하로 검출되어 안전한 것으로 판단된다.

propiconazole은 쌀 파종 시 사용되는 triazole계열 살균제로 벼, 잔디, 장미에 사용되며, isoprothiolane은 쌀에서 검출되고 있는 대표적인 농약으로 도열병이나 이삭마름병에 사용되는 dithiolane계열 살균제로 벼, 사과, 마늘, 양파에 사용된다²²⁾. 임 등²³⁾은 현미에서 검출된 농약 11종 중 isoprothiolane의 검출빈도가 42.7%로 가장 높았다고 보고하였고, 김 등²⁴⁾은 69건의 쌀 시료에서 잔류농약이 3건 검출(4.3%)되었고 검출된 농약은 모두 isoprothiolane이라고 보고하였으며, 김 등²⁵⁾도 지역특산품인 63건의 쌀 시료에서 잔류농약이 6건 검출(9.5%)되었고 검출된 농약 모두 isoprothiolane (0.01~0.04 mg/kg)이라고 보고한 바 있다.

식품공전 상 아황산염류 10 mg/kg 미만은 불검출로 판정하며, 기타식품에 대한 허용기준은 30 mg/kg 미만으로 규정되어 있다²⁶⁾. Monier-Williams 변법에 의한 기능성 쌀 91건의 이산화황(sulfur dioxide) 분석결과 모두 불검출이었다. 김 등¹²⁾은 쌀에서 이산화황이 ND~2.16 mg/kg 검출되었고, 문²⁷⁾은 식품 중 이산화황 실태조사에서 곡류 21건에서 모두 불검출 되었다고 보고한 것과 동일한 결과를 나타내었다.

시료에서 농약 검출률이 낮은 이유는 탈곡과정을 거치는 곡류의 특성과 기능성 쌀의 발아, 발효, 코팅 가공과정에서 세척·건조 등의 공정을 통해 잔류량이 감소하였기 때문이라 생각된다. 또한 쌀의 발아 침지 시 부패방지의 목적으로 살균소독제 농약을 사용하는 대신 오존공급, 고전압 이용, 경도 0의 연수 투입 등 안전한 제품을 생산하기 위한 다양한 특허기술이 개발되고 있다²⁸⁻³⁰⁾.

회수율 및 검출한계

잔류농약 검사에서 검출된 농약성분의 회수율 및 검출

Table 3. Pesticides detected in functional rice

No.	Sampling month	Agricultural products	Pesticide detected	Concentration (mg/kg)	MRL (mg/kg)
1	June	germinated glutinous unpolished rice	propiconazole	0.0340	0.1 ^{a)}
2	July	black glutinous unpolished rice	isoprothiolane	0.0566	2.0 ^{a)}
3	September	germinated glutinous unpolished rice	isoprothiolane	0.0343	2.0 ^{b)}

a) Notification No. 2015-78 of the Ministry of Food and Drug Safety

b) Notification No. 2016-64 of the Ministry of Food and Drug Safety

Table 4. Recoveries and LOD^{a)}, LOQ^{b)} of pesticides

No.	Pesticides	Spike (mg/kg)	Recovery (%)	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)	Correlation coefficient (R)
1	propiconazole	0.1485	90.57 ± 2.57	0.003	0.008	0.9999
2	isoprothiolane	0.1512	96.79 ± 1.86	0.003	0.008	0.9990

a) Limits of detection

b) Limits of quantitation

Table 5. Risk assessment for human health exposure pesticides detected in functional rice

Agricultural products	Pesticide detected	Average of detection value (mg/kg)	Food daily intake ^{a)}	ADI ^{b)} (mg/kgb.w./day)	EDI ^{c)} (mg/day)	MPI ^{d)} (mg/man/day)	%ADI ^{e)}	%MPI ^{f)}
germinated glutinous unpolished rice	propiconazole	0.0340	6.97	0.019	0.0002370	1.045	1.2473	0.0227
black glutinous unpolished rice	isoprothiolane	0.0566	6.97	0.1	0.0003945	5.500	0.3945	0.0072
germinated glutinous unpolished rice	isoprothiolane	0.0343	6.97	0.1	0.0002391	5.500	0.2391	0.0043

a) Food daily intake (g) by unpolished rice³⁶⁾b) Acceptable daily intake³⁷⁾

c) Residual concentration (mg/kg) × daily food intake/1000

d) Maximum permissible intake = ADI × 55 kg

e) %ADI (Hazard index) = (EDI/ADI) × 100

f) %Maximum permissible intake = (EDI/MPI) × 100

한계, 정량한계 실험을 하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 각 농약에 대한 회수율은 90.57~96.79%, 상대표준편차(relative standard deviation, RSD%)는 1.86~2.57%를 나타내었으며, 검출한계와 정량한계는 각각 0.003, 0.008 mg/kg으로 측정되었다. 또한 검량선의 상관관계수(R)는 0.9990 이상의 직선성을 보였다.

유럽연합(European Union, EU)과 국제연합식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)의 회수율과 변이계수의 기준은 70~120%와 20% 이내이며³¹⁾, 미국 식품의약국(Food and Drug Administration, FDA)의 적합한 회수율 범위기준은 80~110%이다³²⁾. 우리나라는 회수율 70~120%, 상대표준편차 20% 이하이다³³⁾. 따라서 본 실험은 적절한 분석법으로 시행한 것으로 판단되었다.

검출된 잔류농약의 위해성평가 결과

식품의약품안전처에서는 이론적 최대 1일 농약섭취량(TMDI, Theoretical Maximum Daily Intake)이 ADI 대비 80%를 넘지 않게 농약잔류허용기준(MRL)을 관리하며, 실질적인 농약섭취량을 파악하기 위하여 장기간에 걸쳐 모니터링 사업을 하고 있다²⁵⁾. 따라서 검출된 잔류농약이 MRL이하로 나타나거나 %ADI가 낮으면 안전하다고 판단한다²⁴⁾. 기능성 쌀에서 검출된 농약 2종에 대한 안전성을 확인하기 위해 위해성 평가를 실시하였다(Table 5). 검출된 농약이 잔류하는 해당 농산물을 섭취하였을 때 위해성을 %ADI로 살펴보면 발아찰현미에서 검출된 propiconazole

이 1.2%로 가장 높았고 나머지는 0.4% 미만으로 미미한 수준임을 확인하였다. 일반적으로 %ADI가 100%를 넘어설 경우 위해하다고 판단되고 있는데³⁴⁾, 본 연구에서 검출된 잔류농약 성분들은 안전하다고 판단된다. 황 등³⁵⁾의 쌀의 세척 및 취반 과정에서 잔류농약이 감소한다는 결과에 따르면 위해도는 더욱 낮아질 것으로 예상된다.

본 연구를 통해 다양한 기능성 쌀의 안전성을 입증하였고, 이는 기능성 농산물의 신뢰도 향상에 도움이 될 것이라 생각한다. 그러나 기능성 쌀은 일반 쌀에 비하여 가격이 몇 배나 높고 일부 품종을 제외한 기능성 쌀의 효과에 대한 정확한 검증이 부족하다는 지적이 있어 향후 기능성 성분에 대한 모니터링이 필요하다고 판단된다.

국문요약

본 연구는 경기도에 유통되는 기능성 쌀을 대상으로 농약 및 이산화황의 잔류실태를 조사하고 위해성평가를 실시하였다. 2016년 2월부터 10월까지 대형마트 및 재래시장에서 유통되는 기능성 쌀 91건을 수거하여 수행하였다. GC/ECD, GC/NPD, GC/TOF/MS, LC/PDA, LC/FLD를 이용한 다중농약다성분 분석법으로 220종의 잔류농약검사를 실시한 결과 3건(3.3%)에서 2종의 농약성분이 검출되었다. 검출된 농약은 살균제 농약인 propiconazole과 살균제 및 식물생장조절제 농약인 isoprothiolane이며, 검출수준은 0.0340~0.0566 mg/kg으로 MRL (Maximum Residues Limits) 대비 각각 34%, 2.8% 이하로 검출되었다. Monier-Williams

변법을 이용하여 이산화황(sulfur dioxide)을 분석한 결과 91건의 시료 모두 불검출 이었다. 농약 검출량을 바탕으로 일일섭취추정량(EDI)과 일일섭취허용량(ADI)을 이용하여 위해성평가를 한 결과 %ADI (Hazard Index)는 0.24~1.25%로 안전한 수준이었다.

References

- National Statistical Office Republic of Korea.: Food Grain Consumption Survey Report. Available from http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ED0001&conn_path=I2
- Jeon N.S.: A Study on new growth industry of the functional rice and rice processing industry, Gyeongnam Development Institute, Policy Focus, **9**, 1-3 (2013).
- Kim E.O., Oh J.H., Lee K.T., Im J.G., Kim S.S., Suh H.S., Choi S.W.: Chemical Compositions and Antioxidant Activity of the Colored Rice Cultivars. *Korean J. Food Preserv.*, **15**(1), 118-124 (2008).
- Rural Development Administration, National Institute of Crop Science, Available from <http://www.nics.go.kr/api/breed.do?m=100000128&homepageSeCode=nics>
- Jeong J.U.: A patent trends in food and functionality in the rice, Korea Institute of Patent Information, Patent 21, **66**, 38-43 (2006).
- Wang J., Lu Z., Chi J.: A multi-center clinical trial of the serum lipid lowering effects of a *Monascus purpureus* (red yeast) rice preparation from traditional Chinese medicine. *Curr. Ther. Res.*, **58**, 964-978 (1997).
- Li C.L., Zhu Y., Wang Y.: *Monascus purpureus*-fermented rice (red yeast rice): a natural food product that lowers blood cholesterol in animal models of hypercholesterolemia. *Nutr. Res.*, **18**, 71-81 (1998).
- Heber D., Yip I., Ashley J.M.: Cholesterol-lowering effects of a proprietary Chinese red-yeast-rice dietary supplement. *Am. J. Clin. Nutr.*, **69**, 231-236 (1999).
- Oh S.H.: Effects and Applications of Germinated Brown Rice with Enhanced Levels of GABA, *Food Sci. Industry*, **40**(3), 41-46 (2007).
- Oh C.H., Seo D.W., Yook C.S., Lee Y.J., Chang S.Y., Ze K.R., Park J.Y., Lee J.P., Seong R.S., Park J.Y., Ko S.K., Lee P.J.: The Variation of Residual Sulfur Dioxide and Marker Components of Herbal Medicines during Drying Process. *Korean J Pharmacogn.*, **38**(4), 299-304 (2007).
- Ministry of Food and Drug Safety.: Korean Food Additives Code. Korea. (2015).
- Kim H.Y., Lee Y.J., Hong K.H., Kwon Y.K., Ko H.S., Lee Y.K., Lee C.W.: Studies on the Contents of Naturally Occurring of Sulfite in Foods. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **32**(3), 544-549 (2000).
- Kang Y.G.: Detection of a bleach in the steamed rice from China, pressian news, Available from <http://www.pressian.com/news/article.html?no=27650>, 2004.08.19.
- Ministry of Food and Drug Safety.: Korean Food Code, Korea, 279-313 (2015).
- Ministry of Food and Drug Safety.: Korean Food Code, Korea, 341-343 (2015).
- Ministry of Food and Drug Safety.: Korean Food Code, Korea, **517**, 170-172 (2015).
- International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use.: Quality Guidelines, Validation of Analytical Procedures, Available from http://www.ich.org/fileadmin/Public_Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q2_R1_Guideline.pdf
- Park D.W., Kim A.G., Kim T.S., Yang Y.S., Kim G.G., Chang G.S., Ha D.R., Kim E.S., Cho B.S.: Monitoring and Safety Assessment of Pesticide Residues on Agricultural Products Sold via Online Websites. *Korean. J. Pestic. Sci.*, **19**(1), 22-31 (2015).
- Korea Food and Drug Administration.: Development of Improved Simultaneous Analytical Method of Residue Pesticides in Food. (2004).
- Kim N.H., Lee H.G., Lee S.R.: Elimination of Phenthoate Residues in the Washing and Cooking of Polished Rice. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **28**(3), 490-496 (1996).
- Kim H., Lee H.J., Kim O.W., Lee S.E., Yoon D.H.: Effect of Non-Uniform Milling on Quality of Milled Rice during Storage. *Korean J. Food Preserv.*, **13**(6), 675-680 (2006).
- Ministry of Food and Drug Safety.: Pesticides and Veterinary Drugs Information. Available from <http://www.foodnara.go.kr/residue>.
- Lim Y.B.: Monitoring of Pesticide Residues in Brown Rice, National Institute of Agricultural Sciences, 323-328 (1999).
- Kim H.Y., Jeon Y.H., Hwang J.I., Kim J.H., Ahn J.W., Chung D.H., Kim J.E.: Monitoring of Pesticide Residues and Risk Assessment for Cereals and Leafy Vegetables of Certificated and General Agricultural Products. *Korean J. Environ. Agric.*, **30**(4), 440-445 (2011).
- Kim M.R., Na M.A., Jung W.Y., Kim C.S., Sun N.K., Seo E.C., Lee E.M., Park Y.G., Byun J.A., Eom J.H., Jung R.S., Lee J.H.: Monitoring of Pesticide Residues in Special Products. *Korean. J. Pestic. Sci.*, **12**(4), 323-334 (2008).
- Ministry of Food and Drug Safety.: Korean Food Code, Korea, 171 (2015).
- Moon J.Y.: Monitoring of Sulfur dioxide and its Risk Assessment in Foods, Unpublished master's thesis, Chung-ang University, Seoul (2012).
- Kang C.H.: KR-A-0036987, 05.24 (2004).
- Han B.K.: KR-A-0022323, 03.31 (2004).
- Kang M.Y.: KR-A-0077133, 12.04 (2001).
- Food and Agricultural Organization of the United Nations.: Joint FAO/WHO Food Standards Programme CODEX Alimentarius Commission, 53-54 (2010).
- Lee P., Barefoot A., Murphy J.: Handbook of residue analytical methods for agrochemicals, 1st Ed. John Wiley & Sons, 13-37 (2003).
- Ministry of Food and Drug Safety.: Analytical Practices Manual for Pesticide Residues in Foods, 4th Ed. Part 7, 81-82 (2013).

34. Chun O.K., Kang H.G.: Estimation of risks of pesticide exposure, by food intake, to Koreans. *Food Chem. Toxicol.*, **41**(8), 1063-1076 (2003).
35. Hwang L.H., Kim A.K., Jung B.K., Lee J.K., Shin J.M., Park Y.H., Park H.W., Kim M.J., Park K.A., Yun E.S., Kim M.S.: Removal of Pesticides during Washing and Cooking of Rice. *J. Food Hyg. Saf.*, **28**(1), 331-35 (2013).
36. Korea Health Industry Development Institute.: National Food & Nutrition Statistics 2013 based on 2013 Korea National Health and Nutrition Examination Survey, Korea, 15 (2015).
37. Ministry of Food and Drug Safety.: Pesticide Residue Database. Available from <http://foodnara.go.kr/residue>