



Research Article

Residual characteristics of buprofezin during rice processing 쌀 가공 중 buprofezin의 잔류 특성

Mihyun Cho, Moo-Hyeog Im*

조미현 · 임무혁*

Department of Food Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

대구대학교 식품공학과

Abstract In this study, we aimed to analyze changes in the residual levels of buprofezin during milling, washing, cooking, and processing of rice to make porridge, rice cakes, and cookies. The pesticide residue levels in rice were analyzed using high-performance liquid chromatograph with UV detector. The residual buprofezin level in brown rice was 21.8 mg/kg, and after milling, that in polished rice was 1.73 mg/kg, with elimination of 92.1% of the pesticide residue. The rate of reduction in buprofezin levels during brown rice washing was 21.6–57.3%, and the residual level of buprofezin during polished rice washing decreased by 27.4–67.2%. When brown rice was cooked using an electric cooker and pressure cooker, buprofezin levels reduced by 51.7 and 55.5%, respectively. When washed polished rice was cooked using an electric cooker and pressure cooker, buprofezin levels reduced by 83.6 and 82.3%, respectively. When washed polished rice was soaked for 30 min and then cooked using an electric cooker and pressure cooker, buprofezin levels reduced by 87.1 and 88.0%, respectively. After processing polished rice into porridge, rice cakes, and cookies, the residue level of buprofezin decreased by 89.7, 82.0, and 79.4%, respectively, compared to the residual level in polished rice. In conclusion, various rice processing methods decrease the residue levels of buprofezin.

Keywords rice, processing, buprofezin, pesticide, residual characteristics



OPEN ACCESS

Citation: Cho MH, Im MH. Residual characteristics of buprofezin during rice processing. Korean J Food Preserv, 29(3), 428-439 (2022)

Received: February 22, 2022

Revised: April 27, 2022

Accepted: April 28, 2022

*Corresponding author

Moo-Hyeog Im

Tel: +82-53-850-6537

E-mail: imh0119@daegu.ac.kr

Copyright © 2022 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

벼는 우리나라의 기후 풍토에 알맞은 농업의 주요 작물이며, 쌀은 주식 곡물 중 으뜸이다(Lee 등, 2011; Yoon 등, 2016). 쌀은 겉껍질의 왕겨층을 제거하면 현미가 되며, 현미에서 속껍질과 겨층을 제거하는 것을 도정이라 하는데, 일반적으로 도정도가 92% 이상인 경우를 백미라고 한다(Jang, 2015; Kum, 2010). 쌀에 함유한 기능성 성분으로는 식이섬유, polyphenols, flavonoids, vitamins, γ -oryzanol 및 ferulic acid 등이 있으며, 이들 성분은 생체 내 다양한 기능을 나타낸다고 알려져 있다(Kum, 2010; Seo 등, 2008). 또한, 2019년 통계청의 양곡 소비량 조사에 따르면 1인당 연간 쌀 소비량은 59.2 kg이며, 2010-2016년 국민건강영양조사 결과를 바탕으로 산출한 쌀의 섭취량은 214.64 g/day로 곡류 중 가장 높은 소비와 섭취량을

나타내었다(Chung, 2017; Kang, 2020).

벼의 재배 과정에서 도열병, 잎집무늬마름병, 흰잎마름병, 줄무늬잎마름병, 벼오갈병 등의 병과, 벼멸구, 흰등멸구, 애멸구, 흑명나방, 이화명나방 등에 의한 피해가 발생하기 때문에 농약이 사용된다(Lee 등, 2008; RDA, 2019). 그러나 농약은 농약관리법에 따라 등록해야 하며, 잔류허용기준(maximum residue limit, MRL)이 설정되어야만 사용할 수 있다(RDA, 2020).

농약이 사용됨에 따라 소비자들의 잔류농약 섭취에 대한 우려가 증가하고 있으나, 실제로 농산물 원료에 농약이 잔류하더라도 섭취하는 형태로 가공하는 과정에 의하여 농약이 제거되거나 분해된다(An 등, 2020; Hwang 등, 2013; Kim 등, 1979; Kim 등, 2020; Park 등, 2009; Ro 등, 2017). 따라서 농산물은 가공 과정을 거친 후 소비자들이 실제로 섭취하게 되는 농약의 양은 미량이다. 실제 식품을 가공한 후 농약의 잔류 특성에 관한 다양한 연구 결과가 있다. 제분과 도정 후 잔류농약 감소에 관한 연구를 살펴보면, Park 등(2009)은 밀의 제분에 따른 밀가루 중 azinphos-methyl 등 6종 농약이 93-95% 제거된 결과를 나타내었으며, Kim 등(1979)은 현미의 도정 과정 중 BHC 잔류분이 80% 이상 제거되었으며, Ro 등(2017)은 안전사용기준의 2배 농도로 살포하여 현미를 백미로 도정하였을 때 hexaconazole 등 4종 농약이 31.2-100% 제거되었다고 보고하였다. 세척 후 잔류농약 변화에 관한 연구로는, Hwang 등(2013)은 현미와 백미를 세척한 후 isoprothiolane과 fthalide가 각각 18.5-59.5, 9.7-41.7% 감소되었고, An 등(2020)은 참외 세척 후 chlorfenapyr 등 7종 농약이 2.2-58.0% 제거되었다고 하였다. 가열에 의한 잔류농약 변화에 대한 가공연구 중, Kim 등(1996)은 쌀의 취반 중 phenthoate 농약이 59% 제거되었으며, Han과 Jo(1999)는 쌀을 취반하였을 때 captan 외 6종 농약이 47.5% 이상 감소하였다고 보고하였다. Kim 등(2020)은 가지와 상추를 열처리하였을 때 azoxystrobin 농약은 68.0% 이상 감소하였고, Kwak 등(2019)은 딸기를 쥘프로 가공하였을 때 acetamiprid 등 10종 농약이 59.8-98.4% 제거되었다고 보고하였다. 이와 같이 다양한 식품에 대하여 가공 방법에 따른 농약 잔류량의 변화에 대한 연구가 수행되고 있으나, 우리나라의 주식인 쌀을 도정, 세척 및 가열 과정 중 농약 잔류량 변화에

대한 연구는 많이 수행되고 있지 않았다.

본 연구는 벼 재배 시 사용하고 쌀에 대한 MRL이 높은 buprofezin 농약을 선정하여 가공 중 농약 감소 경향을 파악하고자 하였다. Buprofezin의 쌀 MRL은 0.5 mg/kg으로 다른 농약에 비하여 높으므로, 가공에 의한 농약 감소 연구가 절실히 필요한 실정이다(MFDS, 2021a). 따라서 쌀의 일반적인 가공 형태인 도정, 세척, 취반, 죽, 백설기 및 쌀과자로 가공 과정 중 buprofezin의 잔류량 변화를 조사하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시약 및 재료

본 연구에 사용된 buprofezin은 Dr. Ehrenstorfer GmbH(Ausgburg, Germany) 순도 99.85% 제품을 구입하여 사용하였다. 전처리 과정에서 sodium chloride(Millipore, Canada), sodium sulfate anhydrous(Junsei Chemical Co., Japan) 제품을 사용하였으며, methanol 및 dichloromethane은 분석용 특급 시약이었다. 정제 과정에서는 NH₂ solid phase extraction(SPE) cartridge(1 g, 6 mL, Waters, Ireland)를 사용하였다. 분석에 사용된 acetonitrile은 high-performance liquid chromatography(HPLC)용 용매(J. T. Baker, USA)를 이용하였다.

2.2. 침지 시료

쌀에 인위적으로 많은 농약을 잔류시키기 위하여 침지 시험을 실시하였다. 쌀은 “삼광” 품종을 이용하였으며, 농약이 검출되지 않은 무농약 나락을 구매하였다. 나락은 정미기(DY-5000R, Dongyangcm, Korea)를 이용하여 현미로 도정하여 시료로 사용하였다. 침지 농도는 buprofezin의 MRL 40배 수준으로 잔류되도록 하기 위하여 400 mg/kg 용액을 조제하였다. 현미를 침지 용액에 10초간 침지 후 물기를 제거하였으며, 건조기(KED-132A, Kiturami, Korea)를 이용하여 30℃에서 6시간 동안 건조한 후 가공 시료로 사용하였다.

2.3. 쌀의 가공 방법

2.3.1. 도정

현미는 정미기로 3분 도미, 5분 도미, 7분 도미, 10분 도

미 및 백미(12분 도미)로 도정한 후 잔류량을 비교하였다.

2.3.2. 세척

쌀의 세척 방법은 두 가지로 분류하였으며, 물의 비율과 세척 횟수를 달리하여 세척하였다. 물의 비율을 달리한 세척 방법은 쌀 300 g에 쌀 무게와 동일한 물(300 mL), 쌀 무게의 1.5배의 물(450 mL), 쌀 무게의 2배의 물(600 mL)을 첨가하여 15초 동안 손으로 10회 저어주며 총 3회 세척한 후 잔류량을 비교하였다. 쌀의 세척 횟수를 달리한 방법은 쌀 300 g에 물 450 mL(1.5배)를 첨가하여 1, 2, 3, 4 및 5회 세척하였다. 세척한 시료는 채를 이용하여 물을 제거한 후 잔류농약을 분석하여 잔류량을 비교하였다.

2.3.3. 취반

현미 취반 방법은 쌀 300 g에 1.5배의 물 450 mL를 넣어 3회 세척한 후 동일한 무게의 물을 첨가하여 30분간 불려 주었다. 그 후 압력밥솥(CRP-HD1010FI, Cuckoo, Korea)과 전기밥솥(SB-56RC, Kitchenart, Korea)을 이용하여 약 40분간 가열하였다. 백미의 경우, 쌀 300 g에 1.5배의 물 450 mL를 넣어 3회 세척한 후 동일한 무게의 물을 첨가하여, 30분 불린 구와 불리지 않은 구로 나누어 압력밥솥과 전기밥솥으로 약 40분간 가열하였다.

2.3.4. 죽 조리

3회 세척한 백미 200 g을 400 mL의 물에 2시간 불린 다음 30분간 물기를 제거해 주었다. 불린 쌀과 물 1.6 L를 첨가하여 쌀알이 퍼질 때까지 저어주며 25분간 가열하였다. 그 후 뚜껑을 덮고 10분간 뜸을 들였다. 또한, 가열 시간 경과에 따른 확실한 농약의 감소율을 파악하기 위하여 백미를 물로 세척하지 않고 15, 20 및 25분 가열하면서 단계별 시료를 채취하여 농약 잔류량을 분석하였다.

2.3.5. 백설기 제조

백미 1.7 kg을 3회 세척한 후 물 2.5 L를 첨가하여 12시간 동안 불려 주었다. 그 후 물기를 제거한 쌀을 소금 17 g과 설탕 170 g을 함께 분쇄기(Duksan Food Industry, Korea)를 이용하여 3회 분쇄하여 가루로 만든 후, 20 mesh 체를 통과시킨 후 물 170 mL를 첨가하여 찜기

(HY-2009-A, Hyalco, Korea)에서 20분 동안 가열해준 뒤 10분간 뜸을 들였다. 또한, 가열 시간 경과에 따른 확실한 농약의 감소율을 파악하기 위하여 백미를 물로 세척하지 않고 10, 15, 20 및 25분 가열하면서 단계별 시료를 채취하여 농약 잔류량을 분석하였다.

2.3.6. 쌀과자 제조

3회 세척한 백미 1.2 kg에 물을 1.8 L를 넣어 12시간 동안 불려준 후 분쇄기를 이용하여 쌀가루를 제조하였다. 쌀가루에 소금 11 g, 설탕 77 g, 베이킹파우더 33 g을 첨가하여 채를 3회 통과시킨 후, 반죽기에 쌀가루, 마가린, 물 660 mL를 넣어 믹싱하였다. 반죽은 냉장고에서 30분간 휴지한 후 밀대로 균일하게 밀어 가로×세로 6 cm로 절단하여 윗불 180°C, 아랫불 160°C로 예열된 오븐(Phantom Electric Deck Oven, Sam Jung, Korea)에 넣고 20분간 가열하였다. 쌀과자로 가공 후 농약이 대부분 제거되어 가열 시간 경과에 따른 확실한 농약의 감소율을 파악하기 위하여, 백미를 물로 세척하지 않고 오븐에서 10, 15 및 20분 가열하였으며, 단계별로 시료를 채취하여 농약 잔류량을 분석하였다.

2.4. 잔류농약 분석 방법

Buprofezin의 잔류농약 분석은 식품공전의 식품 중 잔류농약 시험법 7.1.2.3 다성분 시험법-제3법을 참조 및 변형하여 사용하였다(MFDS, 2021b). 시료 25 g에 증류수 30 mL를 첨가하여 1시간 동안 방치하여 습윤화 과정을 거친 후 acetonitrile 100 mL를 넣어 3분간 고속마쇄 추출하여 감압 여과하였다. 여과액을 분액깔때기에 담은 후 NaCl 15 g을 함께 넣어 5분간 진탕 후 방치하여 분배하였다. Acetonitrile 층을 무수황산나트륨을 이용하여 탈수한 후 40 mL 분취하여 감압 농축하였으며, 그 후 dichloromethane:methanol(99:1, v/v) 10 mL로 재용해하였다. 아미노프로필 카트리지에 dichloromethane 5 mL를 흘려 버린 후, 재용해한 시료액 10 mL 중 8 mL를 가하고 dichloromethane:methanol(99:1, v/v) 5 mL로 용출하여 시험관에 받았다. 용출액은 40°C에서 질소 농축하여 4 mL의 acetonitrile로 재용해한 후 0.45 μ m PTFE filter로 여과하여 분석에 이용하였다.

잔류농약은 HPLC Shiseido SI2(Tokyo, Japan)를 사용하였으며, UV 검출기를 이용하여 245 nm 파장에서 분석하였다. 칼럼은 Sunfire C18[250 mm(L.)×4.6 mm (I.D.), 5 μ m, Waters, Leinster, Ireland]를 사용하였으며, 이동상 용매는 acetonitrile(A)과 water(B)를 이용하였으며, 유속은 1.0 mL/min이었다. 용매 조성 조건은 0분 A 40%, 10분 A 57%, 25분 A 95%, 33분 A 100%, 51분 A 40%이었으며, 칼럼 온도는 40°C, 주입량은 20 μ L로 분석하였다.

2.5. 통계분석

본 연구의 실험결과는 3회 반복 측정하여 평균과 표준편차로 나타내었으며, 통계처리는 Statistical Analysis System (SAS version 9.4)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 유의적 차이를 검증하기 위하여 Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test, $p < 0.05$)을 이용하였다. 또한, 도정도별 농약의 감소율과 제거된 쌀겨의 함량의 상관관계를 엑셀의 상관분석으로 산출하여 자유도에 따라 유의성을 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 회수율 및 정량한계

Buprofezin 표준품을 0.5, 2.0, 4.0, 6.0 및 8.0 mg/L로 조제하여 검량선을 작성한 결과, 검량선의 상관계수(correlation coefficient)는 0.999 이상으로 양호하였다. 검출한계(limit of detection, LOD)와 정량한계(limit of quantification, LOQ)는 각각 0.006, 0.02 mg/kg이었다. 농약이 검출되지 않은 현미, 백미, 죽, 백설기, 쌀과자 반죽 및 쌀과자를 이용하여 0.02, 0.2 및 1.0 mg/kg 수준으로 회수율 시험을 수행한 결과, 0.02 mg/kg 수준에서 97.1-107.2%, 0.2 mg/kg 수준에서 99.4-107.0%, 1.0 mg/kg 수준에서 95.2-106.8%로 국제식품규격위원회(Codex Alimentarius Commission, Codex)의 가이드라인(CAC/GL 40)의 0.02 mg/kg 처리 수준에서 회수율 허용 범위 70-120%, 0.2 및 1.0 mg/kg 수준에서 회수율 허용 범위 70-110%를 만족하였다(Codex, 2003).

3.2. 쌀 가공 후 농약 잔류량 변화

3.2.1. 도정도에 따른 농약 잔류량 비교

도정 과정 중 농약의 감소율을 알아보기 위하여 현미를 3분 도미, 5분 도미, 7분 도미, 10분 도미, 12분 도미로 도정 후 쌀 중 잔류농약 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 현미의 잔류량은 21.8 mg/kg이었다. 도정도에 따른 농약 잔류량 분석 결과, 3분 도미 6.88 mg/kg, 5분 도미 5.35 mg/kg, 7분 도미 2.86 mg/kg, 10분 도미 1.81 mg/kg 및 12분 도미(백미) 1.73 mg/kg으로 초기 잔류량 대비 68.5, 75.4, 86.9, 91.7 및 92.1% 감소하였으며, 10분 도미와 12분 도미(백미) 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 현미에서 백미로 도정도가 증가할수록 농약의 감소율이 증가하였다. 도정도별 제거된 쌀겨의 양은 3분 도미 4.9%, 5분 도미 12.1%, 7분 도미 16.4%, 10분 도미 21.5%, 12분 도미 21.7%이었으며, 도정도에 따른 농약의 감소율과 제거된 쌀겨의 양을 상관관계로 분석하였다. 그 결과, 상관계수는 0.865로 유의 상관관계가 있는 결과를 보였으며, 도정도가 증가할수록 제거되는 쌀겨의 양이 증가하여 표면에 잔류된 농약이 제거된 것으로 판단된다.

Kim 등(1979)은 BHC를 살포하여 재배한 현미를 도정하였을 때 10분 도미에서 92%, 7분 도미에서 80% 제거되었다고 보고하였다. Ro 등(2017)의 연구에서 안전사용기준의 2배 농도로 살포한 현미를 백미로 도정하였을 때 hexaconazole 40-50%, tricyclazole 31.2-35.2%, imidacloprid 66.6-71.4% 감소하였으며, etofenprox는

Table 1. Residual characteristics of buprofezin depending on the degree of milling

Degree of milling (DOM)	Residual level (mg/kg) ¹⁾	% Loss ²⁾
Brown rice	21.80±0.59 ^a	-
3	6.88±0.94 ^b	68.5
5	5.35±0.66 ^c	75.4
7	2.86±0.07 ^d	86.9
10	1.81±0.08 ^e	91.7
12	1.73±0.05 ^e	92.1

¹⁾Mean of triplication concentration±standard deviation.

²⁾[(Raw product residue - processing residue) / Raw product residue] × 100.

^{a-e}Values followed by different superscript letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

백미로 도정 후 잔류량이 검출한계 미만으로 100% 제거되었다. 따라서 4종 농약 모두 백미로 도정함에 따라 농약이 제거되었다.

껍질을 제거하는 쌀의 공정과 유사한 밀의 제분에 관한 농약 감소 연구 결과를 살펴보면, Park 등(2009)은 밀을 제분하였을 때 azinphos-methyl 95%, chlorpyrifos 94%, chlorpyrifos-methyl 95%, fenitrothion 93%, malathion 93% 및 trichlorfon 94% 감소하였다고 보고하였다. 제분하는 과정에서 껍질과 배유가 분리됨으로써 껍질에 잔류한 농약이 제거된 것으로 판단되며 쌀의 도정 후 감소 경향과 유사한 결과를 나타내었다. An 등(2020)은 찹외의 껍질을 제거하였을 때 chlorfenapyr는 불검출이었으며, dimethomorph 94.0-94.5%, dinotefuran 69.9-80.5%, fluopicolide 81.5-82.2%, fluopyram 60.1-75.9%, propamocarb 96.1-96.6%, thiamethoxam 79.8-80.6% 감소되었다고 하였다. 과채류의 경우, 쌀의 도정 및 밀의 제분 과정과 차이가 있지만, 찹외 껍질의 제거만으로 대부분의 농약이 제거된 경향은 유사하게 나타났다.

문헌에서 언급한 농약들의 식물 체내 침투 여부를 조사해본 결과, hexaconazole, tricyclazole, imidacloprid, chlorfenapyr, dimethomorph, fluopicolide, propamocarb 및 thiamethoxam은 침투성 농약으로 나타났다(Turner,

2015). 침투성 농약 중 tricyclazole과 hexaconazole의 감소율은 31.2-35.2% 및 40-50%로 감소율이 낮은 경향이었으나, 이외 침투성 농약의 감소율은 63-96.6%로 식물 체내로 침투하는 특성을 가졌음에도 불구하고 높은 감소율을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 도정 과정에 따른 buprofezin의 감소율은 68.5-92.1%로 다른 문헌들의 농약 감소 경향과 유사하게 나타났다.

3.2.2. 세척 방법에 따른 농약 잔류량 비교

쌀의 세척 방법에 따른 농약 잔류량 변화 결과는 Table 2와 같다. 물의 비율을 달리하여 3회 세척한 방법의 경우, 현미를 1:1 비율로 세척하였을 때 12.97 mg/kg, 1:1.5 비율로 세척 후 12.78 mg/kg, 1:2 비율로 세척 후 11.73 mg/kg의 잔류량을 나타내어 각각 40.5, 41.4 및 46.2% 감소하였다. 백미와 물을 1:1, 1:1.5 및 1:2 비율로 세척하였을 때 농약의 잔류량은 각각 0.84, 0.75 및 0.77 mg/kg으로 51.7, 56.6 및 55.5% 감소하였으며, 세척 방법 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

쌀의 세척 횟수에 따른 잔류량 분석 결과, 현미 1회 세척 시 17.10 mg/kg, 2회 세척 16.74 mg/kg, 3회 세척 13.67 mg/kg, 4회 세척 11.65 mg/kg, 5회 세척 9.31 mg/kg으로 현미 잔류량 대비 21.6, 23.2, 37.3, 46.5 및

Table 2. Residual characteristics of buprofezin in the washing stages of rice

Washing method		Brown rice		Polished rice	
		Residual level (mg/kg) ¹⁾	% loss ²⁾	Residual level (mg/kg) ¹⁾	% loss ²⁾
Rice:water ratio	Rice	21.80±0.59 ^a	-	1.73±0.05 ^a	-
	1:1	12.97±0.54 ^b	40.5	0.84±0.02 ^b	51.7
	1:1.5	12.78±0.70 ^{bc}	41.4	0.75±0.05 ^b	56.6
	1:2	11.73±0.39 ^c	46.2	0.77±0.06 ^b	55.5
Washing times	Rice	21.80±0.59 ^a	-	1.73±0.05 ^a	-
	1	17.10±1.00 ^b	21.6	1.26±0.12 ^b	27.4
	2	16.74±0.26 ^b	23.2	0.94±0.08 ^c	45.9
	3	13.67±0.46 ^c	37.3	0.81±0.03 ^c	53.0
	4	11.65±0.18 ^d	46.5	0.61±0.06 ^d	64.6
	5	9.31±0.29 ^e	57.3	0.57±0.04 ^d	67.2

¹⁾Mean of triplication concentration±standard deviation.

²⁾ $[(\text{Raw product residue} - \text{processing residue}) / \text{Raw product residue}] \times 100$.

^{a-e}Values followed by different superscript letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

57.3%의 감소율을 나타내었다. 백미의 경우, 1회 세척 후 1.26 mg/kg, 2회 세척 0.94 mg/kg, 3회 세척 0.81 mg/kg, 4회 세척 0.61 mg/kg 및 5회 세척 0.57 mg/kg으로 27.4, 45.9, 53.0, 64.6 및 67.2%의 감소율을 나타내었다. 현미는 세척 횟수가 증가함에 따라 21.6-57.3% 감소되었으나, 백미의 경우 27.4-67.2% 감소되어 현미보다 백미 세척 시 농약이 더 많이 제거된 것처럼 보인다. 그러나 현미와 백미의 초기 잔류량은 각각 21.80, 1.73 mg/kg으로, 백미의 잔류량이 미량이므로 세척 후 농약이 소량 제거되어도 감소율이 비교적 높게 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 현미와 백미의 세척 과정에 의하여 농약이 상당량 제거되었으며, 세척 횟수에 따른 농약의 감소 경향이 유사하였다.

Hwang 등(2013)은 현미를 1, 3, 5 및 7회 세척 후 isoprothiolane의 감소율은 18.5, 34.7, 45.7 및 46.0%, fthalide는 9.7, 17.5, 21.4 및 24.3%이었으며, 백미 세척 후 isoprothiolane은 23.0, 43.8, 57.9 및 59.5%, fthalide는 14, 26.2, 37.5 및 41.7% 제거되어, 세척 횟수가 증가함에 따라 농약이 더 많이 제거된다고 보고하였다. An 등(2020)은 참외를 수돗물로 세척한 후 chlorfenapyr는 2.3-22%, dimethomorph 47-58%, dinotefuran 2.2-16.4%, fluopicolide 12.2-31.0%, fluopyram 8.4-19.6%, propamocarb 6.5-31.8%, thiamethoxam 7.8-25.6% 감소하였다고 보고하였다. 세척 후 잔류농약 감소 연구 결과는 본 연구에서 쌀을 세척한 후 buprofezin 농약이 21.6-46.5%, 27.4-67.2% 제거된 결과와 유사한 경향이였다.

문헌에서 언급한 농약들의 log K_{OW}값을 조사하였다. log K_{OW}는 옥탄올과 물의 분배계수를 나타낸 것이며, 수치가 3.5 이상일 경우 지용성 농약으로 분류하고, 3.5 미만일 경우 수용성 농약으로 분류한다(Kim, 2020; Turner, 2015). Isoprothiolane, dimethomorph, dinofefuran, fluopicolide, propamocarb 및 thiamethoxam의 log K_{OW}는 각각 2.8, 2.63(E)-isomer; 2.72(z)-isomer(both 20℃), -0.540(25℃), 2.9, 0.84 (20℃), -0.13(25℃)으로 수용성 특성을 가지고 있으며, chlorfenapyr와 본 연구의 buprofezin의 log K_{OW}는 각각 4.83 및 4.93으로 지용성 농약에 해당된다. 현미를 세척하였을 때 수용성 농약이 지용성 농약보다 감소율이 높을 것으로 예상하였다. 그러나 지용

성 농약인 chlorfenapyr와 buprofezin의 감소율은 2.3-22%, 12.6-57.3%이었고, 수용성 농약인 isoprothiolane, dimethomorph, dinofefuran, fluopicolide, propamocarb 및 thiamethoxam의 감소율 범위는 2.2-58%로 나타났다. 농약의 log K_{OW}에 따라 농약이 비례적으로 감소하지 않았으므로 log K_{OW}와 관계없이 물의 물리적인 세척으로 인하여 농약 성분이 제거된 것으로 판단된다.

3.2.3. 취반에 따른 농약 잔류량 비교

쌀의 취반에 따른 농약의 감소 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 세척 후 30분간 불린 현미를 전기밥솥과 압력밥솥으로 취반하였을 때 농약의 잔류량은 각각 10.53 및 9.71 mg/kg으로 51.7 및 55.5% 감소하였으며, 가공 방법에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

백미의 경우, 세척한 백미를 불리지 않고 전기밥솥으로 취반하였을 때 농약의 잔류량은 0.28 mg/kg으로 초기 백미 잔류량 대비 83.6% 감소하였으며, 압력밥솥으로 취반 후 잔류량은 0.31 mg/kg으로 82.3%의 감소율을 나타내었다. 세척한 백미를 30분간 불린 후 전기밥솥으로 취반하였을 때 잔류량은 0.22 mg/kg으로 나타났으며, 압력밥솥의

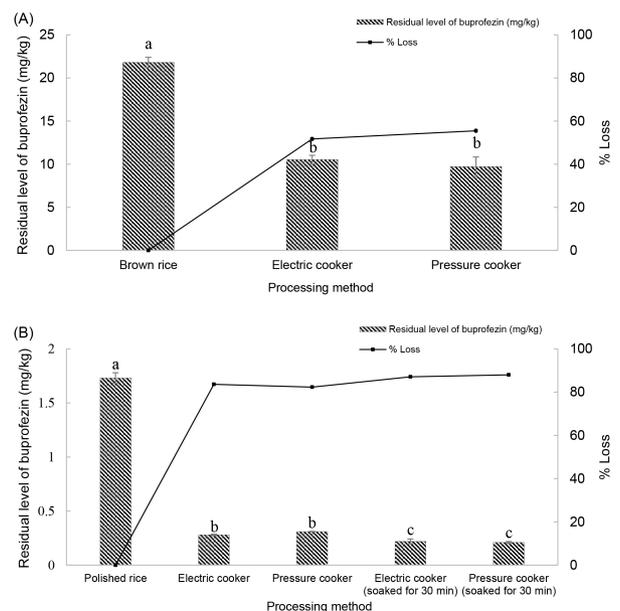


Fig. 1. Residual characteristics of buprofezin depending on cooking rice (A) brown rice (B) polished rice. Values are mean±standard deviation (n=3).

경우 0.21 mg/kg으로 각각 87.1%, 88.0% 제거되었다. 통계 처리 결과, 전기밥솥과 압력밥솥을 이용한 가공 방법 간 유의적인 차이는 없었으나, 세척 후 불린 백미와 불리지 않은 백미를 취반한 경우는 유의적인 차이가 나타났다. 따라서 백미는 가열 과정에 의하여 농약이 82.3% 이상 제거되었으며, 쌀을 30분간 불린 후 취반하였을 때 농약의 감소율이 더 높았다.

Kim 등(1996)은 쌀을 취반하였을 때 phenthoate 농약이 59% 제거되었으며, Hwang 등(2013)은 현미 및 백미 취반 후 isoprothiolane 88.7 및 66.0%, fthalide 92.9 및 79.0% 제거되었다고 보고하였다. Han과 Jo(1999)는 captan, carbaryl, fenitrothion, fenthion, phenthoate, chlorpyrifos-methyl 및 pirimiphos-methyl 농약이 처리된 백미를 취반에 의한 제거 효과를 조사한 결과, 농약은 각각 100.0, 90.9, 54.2, 47.5, 50.7, 61.5 및 53.4% 제거되었다고 보고하였다. Kim 등(2020)은 가지를 세척 후 찌기, 세척 후 볶기로 가공한 후 azoxystrobin 농약은 68.0 및 75.7% 감소하였고, 상추를 데치기 가공한 결과, 73.6% 감소하였다고 보고하였다.

국제식품규격위원회의 농약전문가위원회(Joint Meeting FAO/WHO on Pesticides Residues, JMPR)에 제출된 자료를 이용하여 백미 취반 시 농약의 감소율을 산출하였을 때 chlorpyrifos-methyl(JMPR, 2013), difenoconazole(JMPR, 2015) 및 fenitrothion(JMPR, 2007) 농약은 각각 64.7, 40 및 73.3% 감소하였다. 문헌들에서 언급한 농약의 증기압을 조사한 결과, 증기압은 각각 phenthoate 5.3 MPa(40°C), isoprothiolane 0.493 MPa(25°C), captan <1.3 MPa(25°C), carbaryl 0.041 MPa(23.5°C), fenitrothion 1.57 MPa(25°C), fenthion 0.74 MPa(20°C) 및 1.4 MPa(25°C), chlorpyrifos-methyl 3 MPa(25°C), pirimiphos-methyl 2 MPa(20°C), azoxystrobin 1.1×10^{-7} MPa(20°C), difenoconazole 3.3×10^{-5} MPa(25°C)이었다(Turner, 2015). 증기압이 높아 다른 농약에 비하여 휘발성 높은 phenthoate, captan, fenitrothion, fenthion, chlorpyrifos-methyl 및 pirimiphos-methyl의 취반 후 농약의 감소율은 47.5-100%이었다. 그러나 휘발성이 낮은 isoprothiolane, carbaryl 및 difenoconazole의 백미 취반 후 감소율은 각각 66.0, 90.9 및 40%로 증기압과

관계없이 높은 감소율을 나타내었다. 본 연구의 buprofezin은 증기압이 4.2×10^{-2} MPa(20°C)인 휘발성이 낮은 농약으로 현미 및 백미 취반 후 51.7-55.5%, 82.3-88.0% 감소하여 문헌 중 비휘발성 농약의 감소 경향과 유사하게 나타났다. 따라서 농약의 증기압과 관계없이 열에 의하여 농약이 대부분 제거됨을 알 수 있었다.

3.2.4. 죽 가공에 따른 농약 잔류량 비교

죽 가공 단계별 농약의 잔류량 변화 결과는 Fig. 2와 같다. 백미의 잔류량은 1.73 mg/kg이었으며, 세척 후 0.81 mg/kg, 2시간 불린 후 0.66 mg/kg, 죽 0.18 mg/kg으로 초기 백미의 잔류량 대비 53.0, 62.1 및 89.7% 제거되었다. 가열 시간을 달리하여 죽으로 가공하였을 때 농약의 잔

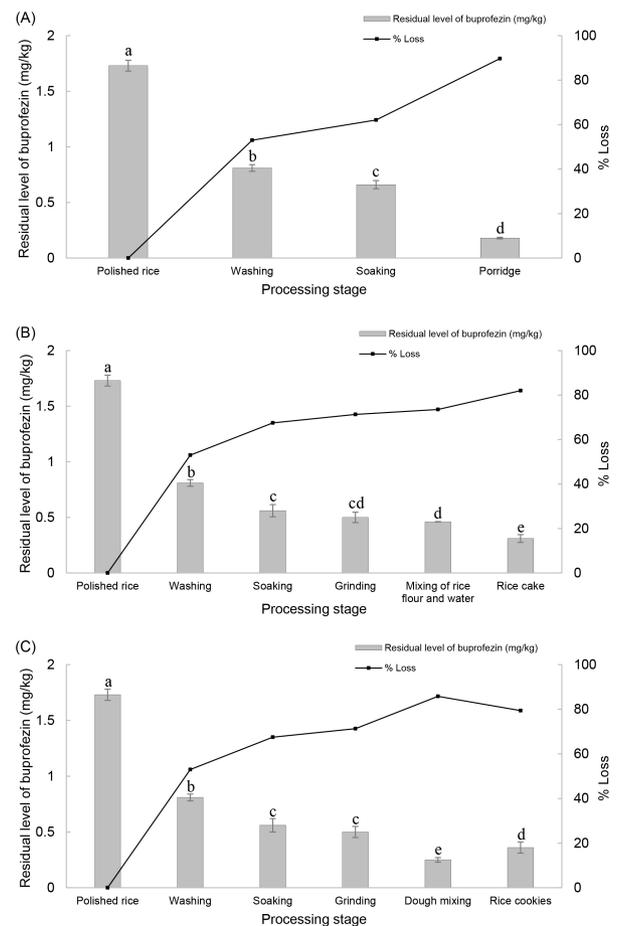


Fig. 2. Residual characteristics of buprofezin in the various processing stages of polished rice (A) porridge (B) rice cake (C) rice cookies. Values are mean±standard deviation (n=3).

류량을 비교하기 위하여 세척하지 않은 쌀을 이용하여 15, 20 및 25분 가열하여 가공하였으며, 그 결과 Table 3에 나타내었다. 백미를 2시간 불린 후 농약의 잔류량은 0.86 mg/kg, 15분 가열 후 0.16 mg/kg, 20분 가열 후 0.18 mg/kg, 25분 가열 후 0.21 mg/kg이었으며, 감소율은 각각 50.2, 90.6, 89.7 및 88.1%로 나타났다. 죽은 가열 시간이 증가할수록 농약의 잔류량이 증가하였으나, 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 가공 중 중량 변화에 따른 buprofezin의 실제 함량을 산출한 결과, 15, 20 및 25분 가열한 죽의 중량 속 농약의 실제 잔류량은 170.8, 165.6 및 170.7 μg 으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

JMPR에 제출된 자료를 이용하여 토마토 주스를 퓨레로 가공하였을 때 농약의 감소율을 산출한 결과, chlorfenapyr 335.7%(JMPR, 2012), cycloxydim 334.2%(JMPR, 2012), flubendiamide 367.3%(JMPR, 2010), fuopyram 202.8%(JMPR, 2012), fluxapyroxad 205.6%(JMPR, 2012)로 농약이 농축된 것으로 나타났다. 이는 퓨레를 제조할 때 주스에 열을 가하여 농축하는 과정에서 수분함량이 줄어들기 때문에 농약의 잔류량이 증가된 것으로 판단하였다. 이러한 결과는 본 연구에서 죽의 가열 시간이 증가함에 따라 농약의 잔류량이 증가하는 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

3.2.5. 백설기 가공에 따른 농약 잔류량 비교

백설기의 가공 과정 및 가공 후 농약의 잔류량 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 백미의 백설기 가공 과정 중 농약의 잔류량은 세척 0.81 mg/kg, 12시간 불린 후 0.56 mg/kg,

쌀가루 0.50 mg/kg, 물 첨가 후 쌀가루 0.46 mg/kg, 백설기 0.31 mg/kg으로, 초기 백미 잔류량 대비 53.0, 67.5, 71.3, 73.5 및 82.0% 유의적으로 감소하였다. 가열 시간에 따른 잔류량을 비교하기 위하여 세척하지 않은 백미를 백설기로 가공하였으며, 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 가공 과정 중 농약의 잔류량은 12시간 불린 후 1.09 mg/kg, 쌀가루 1.02 mg/kg, 물 첨가 후 쌀가루 0.96 mg/kg, 10분 가열 0.73 mg/kg, 15분 가열 0.65 mg/kg으로 각각 37.3, 41.2, 44.3, 57.9 및 62.6% 유의적으로 감소하였으나, 20분 및 25분 가열 후 농약의 잔류량은 0.52, 0.46 mg/kg으로 유의적인 차이가 없었다. 따라서 가열 과정에 의하여 농약이 감소하였으며, 가열 시간이 증가할수록 농약 감소율도 증가하였으나, 20분 가열 이후부터는 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

Lee와 Im(2021)은 침지한 백미 중 etofenprox의 잔류량은 2.13 mg/kg이며, 백설기로 가공 후 잔류량은 0.38 mg/kg으로 백미 잔류량 대비 82.1% 감소하였다고 보고하였다. JMPR에 제출된 연구 결과를 이용하여 밀가루를 빵으로 가공 시 농약의 감소율은 각각 azoxystrobin 48.0% (JMPR, 2008), bifenthrin 21.0%(JMPR, 2010), chlorpyrifos-methyl 65.2%(JMPR, 2009), deltamethrin 54.8%(JMPR, 2002), flupyradifurone 28.1%(JMPR, 2016), fluxapyroxad 25.0%(JMPR, 2012), malathion 77.0% (JMPR, 2008)로

Table 3. Residual characteristics of porridge processed with unwashed polished rice

Processing method	Residual level (mg/kg) ¹⁾	% Loss ²⁾
Polished rice	1.73±0.049 ^a	-
Soaking	0.86±0.091 ^b	50.2
Boiling for 15 min	0.16±0.002 ^c	90.6
Boiling for 20 min	0.18±0.014 ^c	89.7
Boiling for 25 min	0.21±0.014 ^c	88.1

¹⁾Mean of triplication concentration±standard deviation.
²⁾[(Raw product residue - processing residue) / Raw product residue] × 100.
^{a-c}Values followed by different superscript letters in the same column are significantly different (p<0.05).

Table 4. Residual characteristics of rice cake processed with unwashed polished rice

Processing method	Residual level (mg/kg) ¹⁾	% Loss ²⁾
Polished rice	1.73±0.05 ^a	-
Soaking	1.09±0.08 ^b	37.3
Grinding	1.02±0.03 ^c	41.2
Mixing of rice flour and water	0.96±0.04 ^c	44.3
Heating for 10 min	0.73±0.01 ^d	57.9
Heating for 15 min	0.65±0.02 ^e	62.6
Heating for 20 min	0.52±0.02 ^f	69.8
Heating for 25 min	0.46±0.02 ^f	73.3

¹⁾Mean of triplication concentration±standard deviation.
²⁾[(Raw product residue - processing residue) / Raw product residue] × 100.
^{a-f}Values followed by different superscript letters in the same column are significantly different (p<0.05).

나타났다. 이들의 증기압은 각각 1.1×10^{-7} MPa(20°C), 0.00178 MPa(20°C), 3 MPa(25°C), 1.24×10^{-5} MPa(25°C), 9.1×10^{-7} MPa(20°C), 2.7×10^{-6} MPa(20°C) 및 5.3 MPa(30°C)으로 조사되었다(Turner, 2015). 휘발성이 높은 chlorpyrifos-methyl 및 malathion의 감소율은 65.2 및 77%로 휘발성이 낮은 azoxystrobin, bifenthrin, deltamethrin, flupyradifurone 및 fluxapyroxad보다 감소율이 높았다. 그러나 Lee와 Im(2021)의 연구의 etofenprox 농약과 본 연구의 buprofezin 농약은 증기압이 8.13×10^{-4} MPa(25°C), 4.2×10^{-2} MPa(20°C)로 휘발성이 낮으나, 두 농약 모두 열처리가 들어가는 가공 후 각각 82.1, 82.0% 제거되어 높은 감소율을 나타내었다. 따라서 증기압과 상관없이 열처리에 의하여 농약이 상당량 제거된 것으로 판단된다.

3.2.6. 쌀과자 가공에 따른 농약 잔류량 비교

쌀과자 가공 과정 중 농약 잔류량은 Fig. 2와 같다. 백미의 잔류량은 1.73 mg/kg이었으며, 가공 과정 중 농약의 잔류량은 세척 0.81 mg/kg, 12시간 불린 후 0.56 mg/kg, 쌀가루 0.50 mg/kg, 반죽 0.25 mg/kg, 쌀과자 0.36 mg/kg으로 초기 백미 잔류량 대비 53.0, 67.5, 71.3, 85.8 및 79.4% 감소하였다. 가열 시간에 따른 농약의 잔류량 변화를 비교하기 위하여 백미를 세척하지 않고 쌀과자로 가공하였으며, 그 결과를 Table 5에 나타내었다. 가공 과정

Table 5. Residual characteristics of rice cookies processed with unwashed polished rice

Processing method	Residual level (mg/kg) ¹⁾	% Loss ²⁾
Polished rice	1.73±0.05 ^a	-
Soaking	1.09±0.08 ^b	37.3
Grinding	1.02±0.03 ^b	41.2
Dough mixing	0.48±0.02 ^e	72.0
Baking for 10 min	0.63±0.07 ^d	63.9
Baking for 15 min	0.79±0.02 ^c	54.4
Baking for 20 min	1.00±0.08 ^b	42.0

¹⁾Mean of triplication concentration±standard deviation.

²⁾ $[(\text{Raw product residue} - \text{processing residue}) / \text{Raw product residue}] \times 100$.

^{a-d}Values followed by different superscript letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

중 농약의 잔류량은 12시간 불린 후 1.09 mg/kg, 쌀가루 1.02 mg/kg, 반죽 0.48 mg/kg, 10분 구움 0.63 mg/kg, 15분 구움 0.79 mg/kg, 20분 구움 1.00 mg/kg으로, 백미 잔류량 대비 각각 37.3, 41.2, 72.0, 63.9, 54.4 및 42.0% 감소하였다. 세척한 백미를 쌀과자로 가공한 방법과 세척하지 않은 백미로 가열 시간을 달리하여 가공한 방법 모두 반죽을 가열한 후 잔류량이 증가하는 것으로 나타났다. 쌀과자 반죽의 가열 시 중량 변화에 의한 농약 성분 함량을 산출한 결과, 세척한 백미를 이용하여 가공한 쌀과자 반죽과 쌀과자 시료의 농약 성분 함량은 238.0 및 211.2 μg 으로 유의적인 차이가 없었으며, 세척하지 않은 백미로 쌀과자를 가공한 경우는 반죽 251.7 μg , 10분 구움 237.8 μg , 15분 구움 224.8 μg 및 20분 구움 199.7 μg 으로 농약의 성분 함량이 줄어든 것으로 나타났다. 따라서 가열로 인하여 수분이 제거되면서 시료 중량이 감소하여 잔류량이 증가한 것으로 판단된다. 이는 Kwak 등(2019)의 연구에서 딸기를 잼으로 가공하였을 때 acetamiprid, boscalid, dinotefuran, flonicamid 및 fludioxonil 농약의 잔류량이 11.8-40.2% 증가하는 것으로 나타났으나, 농약의 절대량의 감소율을 산출한 결과 59.8-67.9%로 제거된 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

Uygun 등(2009)은 밀가루를 쿠키로 가공하였을 때 malathion의 잔류량은 7.20 mg/kg에서 1.95 mg/kg으로 72.9% 감소하였으며, chlorpyrifos-methyl은 3.69 mg/kg에서 1.46 mg/kg으로 60.4% 감소하였다고 보고하였다. Malathion과 chlorpyrifos-methyl은 증기압이 5.3 MPa(30°C), 3 MPa(25°C)로 휘발성이 높으며, 본 연구의 buprofezin은 증기압이 4.2×10^{-2} MPa(20°C)로 휘발성이 낮다(Turner, 2015). 휘발성이 높은 농약이 열처리에 의한 감소율이 높을 것으로 예상하였으나, 가열 후 3종 농약의 감소율은 각각 72.9, 60.4 및 79.4%로 비슷한 감소율을 나타내었다. 따라서 농약의 휘발성 및 비휘발성 특성과 상관없이 열에 의해 대부분의 농약이 제거되었다.

결론적으로 현미를 백미로 도정하였을 때 buprofezin 농약은 92.1% 감소하였으며, 현미와 백미를 세척하였을 때 농약은 각각 21.6-57.3%, 27.4-67.2% 감소하였다. 현미를 전기밥솥과 압력밥솥으로 취반 후 농약의 감소율은 51.7, 55.5%, 백미를 취반하였을 때 농약은 82.3-88.0% 감소하였

다. 백미를 이용하여 죽, 백설기 및 쌀과자로 가공하는 과정 중 농약의 잔류량 변화를 살펴보았으며, 최종 가공품인 죽, 백설기 및 쌀과자의 백미 잔류량 대비 농약 감소율은 89.7, 82.0 및 79.4%이었다. 따라서 쌀을 도정, 세척 및 가열 과정을 통하여 대부분의 농약이 감소된 결과를 나타내었다.

4. 요약

본 연구는 쌀의 도정, 세척, 취반, 죽, 백설기, 쌀과자 가공 중 buprofezin의 잔류량 변화를 비교하였으며, HPLC-UVD를 이용하여 분석하였다. 현미 잔류량은 21.8 mg/kg 이었으며, 도정 후 백미의 잔류량은 1.73 mg/kg으로 농약이 92.1% 제거되었다. 세척의 경우, 현미 세척 시 농약의 감소율은 21.6-57.3%이었으며, 백미는 세척 후 27.4-67.2% 감소하였다. 현미를 전기밥솥과 압력밥솥을 이용하여 가공하였을 때 농약은 51.7 및 55.5% 감소하였다. 백미의 경우, 세척한 백미를 전기밥솥, 압력밥솥으로 취반 후 농약의 감소율은 83.6 및 82.3%이었으며, 세척한 백미를 30분간 불린 후 전기밥솥과 압력밥솥으로 취반하였을 때 잔류농약은 87.1 및 88.0% 감소하였다. 백미를 죽, 백설기 및 쌀과자로 가공 후 잔류농약은 백미 잔류량 대비 89.7, 82.0 및 79.4% 감소하였다. 따라서 쌀은 다양한 가공 과정에 의하여 농약이 제거된 결과를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 식품의약품안전처의 연구개발비(19162MFDS021)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Cho MH, Im MH. Formal analysis: Cho MH. Writing - original draft: Cho MH. Writing - review & editing: Cho MH, Im MH.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval

because there are no human and animal participants.

ORCID

Mihyun Cho (First author)

<https://orcid.org/0000-0002-2935-7586>

Moo-Hyeog Im (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0001-9223-1196>

References

- An JM, Chang SY, Lim HJ, Park JO, Kim IS, Hwang HR, Park DH, Kim IR, Kang MG. Reduction of pesticide residues in Korean melon after washing and peeling. *Korean J Pestic Sci*, 24, 51-62 (2020)
- Chung HR. Estimating the Amounts of Foods, Consumed but Not Calculated in KNHANES, for Dietary Exposure Assessment of Pesticide. Final Report of MFDS, 17162MFDS003 (2017)
- CODEX Alimentarius Commission. Guidelines on Good Laboratory Practice in Residue Analysis (CAC/GL 40-1993). Food and Agriculture Organization, World Health Organization, Rome, Italy p 25 (2003)
- Han SH, Jo HB. Effect of storage temperature, washing, and cooking on postharvest-treated pesticide residues in polished rice. *J Fd Hyg Safety*, 14, 9-16 (1999)
- Hwang LH, Kim AK, Jung BK, Lee JK, Shin JM, Park YH, Park HW, Kim MJ, Park KA, Yun ES, Kim MS. Removal of pesticides during washing and cooking of rice. *J Fd Hyg Safety*, 28, 31-35 (2013)
- Jang HG. The Technology of Food Processing and Preservation. Life Science, Seoul, Korea, p 102-105 (2015)
- JMPR. Evaluation on 2002-Pesticide Residues in Food 2002. Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues, Rome, Italy, p 167-358 (2002)
- JMPR. Evaluation on 2007-Pesticide Residues in Food 2007. Joint Meeting of the FAO Panel of

- Experts on Pesticide Residues, Rome, Italy, p 607-617 (2007)
- JMPR. Evaluation on 2008-Pesticide Residues in Food 2008. Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues, Rome, Italy, p 1-202, p 1227-1232 (2008)
- JMPR. Evaluation on 2009-Pesticide Residues in Food 2009. Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues, Rome, Italy, p 147-262 (2009)
- JMPR. Evaluation on 2010-Pesticide Residues in Food 2010. Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues, Rome, Italy, p 15-174, p 1226-1392 (2010)
- JMPR. Evaluation on 2012-Pesticide Residues in Food 2012. Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues, Rome, Italy, p 181-250, p 260-384, p 617-935 (2012)
- JMPR. Evaluation on 2013-Pesticide Residues in Food 2013. Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues, Rome, Italy, p 357-360 (2013)
- JMPR. Evaluation on 2015-Pesticide Residues in Food 2015. Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues, Rome, Italy, p 547-580 (2015)
- JMPR. Evaluation on 2016-Pesticide Residues in Food 2016. Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues, Rome, Italy, p 1055-1416 (2016)
- Kang SW. Food Grain Consumption Survey Report, Statistics Korea, Daejeon, Korea, p12 (2020)
- Kim JA, Seo JA, Lee HS, Im MH. Residual characteristics and processing factors of azoxystrobin during eggplant and lettuce processing. *J Appl Biol Chem*, 63, 51-60 (2020)
- Kim NH, Lee MG, Lee SR. Elimination of phenthoate residues in the washing and cooking of polished rice. *Korean J Food Sci Technol*, 28, 490-496 (1996)
- Kim YH, Kim HN, Kim SS, Lee SR. Elimination of BHC residues in the polishing and cooking processes of brown rice. *Korean J Food Sci Technol*, 11, 18-25 (1979)
- Kum JS. Rice nutrition and rice processed foods. *Food Preserv Process Ind*, 9, 49-59 (2010)
- Kwak SY, Lee SH, Jeong HR, Nam AJ, Aniruddha S, Kim HY, Lim CU, Cho HJ, Kim JE. Variation of pesticide residues in strawberries by washing and boiling processes. *Korean J Environ Agric*, 38, 281-290 (2019)
- Lee HS, Im MH. Residual characteristics of etofenprox in the processing stages of rice cakes and cookies. *Plos One*, 16, e0255751 (2021)
- Lee JH, Park HW, Keum YS, Kwon CH, Lee YD, Kim JH. Dissipation pattern of boscalid in cucumber under greenhouse condition. *Korean J Pestic Sci*, 12, 67-73 (2008)
- Lee JH, Yu JH, Lee GB, Kim JO, Yu MJ, Kang EJ. *Korean Food*. Kwangmoonkag, Paju, Korea, p 17 (2011)
- MFDS. Pesticides MRLs in Agricultural Commodities. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea. Available from: <http://www.foodsafetykorea.go.kr>. Accessed Mar 25. 2021a.
- MFDS. Korean Food Standards Codex. Multiresidue method-3. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea. Available from: <http://www.foodsafetykorea.go.kr>. Accessed Mar 25. 2021b.
- Park SY, Park KS, Im MH, Choi H, Chang MI, Kwon CH, Kim SG, Lee HK, Hong MK, Shim JH, Kim JH. Studies for the processing factors of pesticides during the milling of wheat grain. *Korean J Pestic Sci*, 13, 70-78 (2009)
- RDA. Organic Rice Production. The Think Book, Seoul, Korea, p 175-218 (2019)
- RDA. Agricultural Chemicals Regulation Law. Rural Development Administration, Jeonju, Korea. Available from: <https://www.law.go.kr>. Accessed Feb 22. 2020.
- Ro JH, Lim SJ, Jin YD, Kim DB, Choi GH, Kim SS, Lee HW, Park JH. Residue patterns of hexaconazole, tricyclazole, etofenprox and imidacloprid in polished and unpolished rice.

Korean J Pestic Sci, 21, 324-331 (2017)

Seo SJ, Choi Y, Lee SM, Kong S, Lee J. Antioxidant activities and antioxidant compounds of some specialty rices. J Korean Soc Food Sci Nurt, 37, 129-135 (2008)

Turner JA. The Pesticide Manual a World Compendium. 17th ed, BCPC, Alton, Hampshire, UK, p 66-

1147 (2015)

Uygun U, Senoz B, Ozturk S, Koksel H. Degradation of organophosphorus pesticides in wheat during cookie processing. Food Chem, 117, 261-264 (2009)

Yoon DI, Lim HS, Jung NO, Kim GM. Korean Food. Powerbook, Goyang, Korea, p 5 (2016)