



감 중 Broflanilide 잔류분석법 확립 및 세척·후숙 과정 중 잔류량 변화 평가

민태규 · 백재운 · 이윤희 · 조용원 · 이다건 · 오원근 · 서재림 · 이민영 · 신용호*

동아대학교 응용생명과학과

Establishment of an Analytical Method for Broflanilide in Persimmon and Evaluation of Residues during Household Washing and Post-ripening

Tae-Gyu Min, Jae-Woon Baek, Yoon-Hee Lee, Yong-Won Cho, Da-Geon Lee, Won-Guen Oh, Jae-Lim Seo, Min-Young Lee, and Yongho Shin*

Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Busan 49315, Korea

(Received on January 16, 2026. Revised on February 21, 2026. Accepted on February 26, 2026)

Abstract Persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) is commonly consumed after ripening, and their household washing may substantially alter pesticide residue levels at the time of consumption. This study established and validated a citrate-buffered QuEChERS extraction method followed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) for the determination of broflanilide residues in persimmon matrices (peel, flesh, calyx, and post-ripened fruit), and evaluated residues during washing and post-ripening. The method showed a method limit of quantitation (MLOQ) of 0.01 mg/kg, excellent linearity ($r^2 = 0.9984-0.9989$), recoveries of 84.3–113.9% with relative standard deviations (RSDs) of 0.9–10.6%, and negligible matrix effects (-12.5 to +1.3%) in all the features. In washing trials, the residues in unwashed peels decreased from 0.383 mg/kg to 0.155 mg/kg after rinsing with tap water or to 0.061 mg/kg following hand rubbing. The residues in the flesh decreased from 0.066 to 0.013 mg/kg after rinsing with tap water and reduced further to <0.01 mg/kg when immersed in 1% acetic acid, 0.2% PEG 4000, or 10% NaHCO₃. The residues in the unwashed calyx were high (40.2 mg/kg) and this reduced to 21.0 mg/kg when rinsed with tap water, with limited additional reduction by hand rubbing. During ripening of the unwashed fruit (1 to 21 days), we observed that the flesh contained 0.04–0.05 mg/kg of broflanilide residues and this was well below the Korean maximum residue limit (MRL; 0.2 mg/kg).

Key words: Broflanilide, Household washing, Persimmon, Post-ripening, QuEChERS

서 론

감(*Diospyros kaki* Thunb.)은 국내에서 중요한 과실 작물이며, 특히 떫은감(astringent persimmon)은 수확 직후 과육 내 수용성 탄닌(tannin) 함량이 높아 강한 떫은맛을 나타내므로, 상업적 유통·섭취를 위해서는 후숙(탈삼; astringency removal) 처리가 필수적이다(Das and Eun, 2021). 탈삼은 고농도 이산화탄소, 에틸렌(ethylene) 등 인위적 처리로 빠르게 유도

될 수 있으나, 한편으로 저장·후숙(연화) 과정에서 경시적으로 진행되는 자연적 떫은맛 감소 역시 수용성 탄닌의 불용화/전환이라는 동일한 방향성을 가진다(Baek et al., 2025). 감은 떫은감뿐 아니라 단감(비떫은감)과 같이 수확 후 생과 상태로 직접 섭취되는 품종이 널리 유통되고 있다. 따라서 소비자가 실제로 접하는 감은 단감 및 홍시(후숙) 형태인 경우가 일반적이고, 이 단계에서 수행되는 세척과 같은 가정 내 전처리가 섭취 직전 잔류농약 수준을 좌우할 수 있다.

신선 과실의 잔류농약 관리는 일반적으로 생산·유통 단계의

*Corresponding author
E-mail: yong6103@dau.ac.kr

기준 설정과 모니터링을 기반으로 이루어지나, 실제 섭취 직전 노출량은 소비자가 수행하는 가정 내 전처리(세척, 박피 등)에 의해 유의하게 달라질 수 있다. 세척은 과채류 섭취 전 일반적으로 수행되는 대표적 조작이며, 잔류 저감의 정도는 농약의 물리·화학적 특성, 과피/표면 왁스층과의 친화성, 처리 시간·강도, 세척제 조성 등에 따라 크게 변동한다(Bajwa and Sandhu, 2014; Du et al., 2025). 세척만으로도 잔류가 유의하게 감소하는 사례가 보고되어 왔고, 물 세척 외에도 염(salt) 또는 특정 세척 용액에 침지·세척하는 방식이 잔류 저감에 효과적일 수 있다(Kaushik et al., 2009; Acoglu and Omeroglu, 2021; Omeroglu et al., 2022). 반대로 건조 또는 후숙 과정은 농도 기준 잔류량을 증가시키는 방향으로 작용할 수 있어, 저장·후숙 중 생체중 변화가 동반되는 과실에서는 가공계수 (processing factor) 관점에서 잔류 변화를 함께 평가할 필요가 있다(Yigit and Velioglu, 2023).

한편 잔류농약은 소비자 안전과 직결되며, 국가별 잔류허용기준(MRL) 및 관리 체계에 따라 유통 적합성이 결정된다. 우리나라는 식품의약품안전처 「식품의 기준 및 규격」 [별표 4]에 농산물별 농약 잔류허용기준을 제시하고(Ministry of Food and Drug Safety, 2025), 해당 항목에 기준이 없는 경우에는 0.01 mg/kg을 일률적으로 적용하는 체계를 운영하고 있다(Ministry of Food and Drug Safety, 2017). 따라서 특정 작물-농약 조합에 대한 잔류 기준 및 실제 잔류 저감 양상(세척·가공)을 함께 제시하는 연구는 위해평가뿐 아니라 현장 관리 지침 마련에도 중요하다. 더불어 농산물에 대한 잔류 양상을 신뢰성 있게 평가하기 위해서는 표준화된 분석법 확립과 엄격한 검증이 선행되어야 한다. 특히 감은 부위별(과피·과육·꼭지) 성상이 크게 다르며, 특히 시체(persimmon calyx)라는 개별 명칭이 있는 감 꼭지는 폐놀계 성분 등 기능성 성분이 보고되어 한약재 등으로 활용되므로, 별도의 잔류량 평가가 필요하다(Organisation for Economic Co-operation Development, 2008; Yoshimura et al., 2021; European Commission, 2025). QuEChERS는 농산물 중 잔류농약 분석을 위해 제안된 대표적인 시료 전처리 전략으로, acetonitrile 기반 추출/분배와 dispersive solid-phase extraction (dSPE) 정제를 통해 다성분 잔류 분석에 널리 적용되어 왔다(Anastassiades et al., 2003). 또한 EN 15662 전처리법은 식물성 식품에서 QuEChERS 기반 다성분 잔류농약 분석 방법의 표준으로 활용되고 있다(European Committee for Standardization (CEN), 2008).

Broflanilide는 Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) 분류에서 GABA-gated chloride channel allosteric modulators (Group 30)에 속하는 살충제이며(Fig. 1), 화학적으로 meta-diamides 계열로 분류된다(Insecticide Resistance Action Committee, 2025). 물리화학적인 측면에서 수용해도 (water solubility)가 낮고(0.71 mg/L) 소수성 특성을 보여(Log

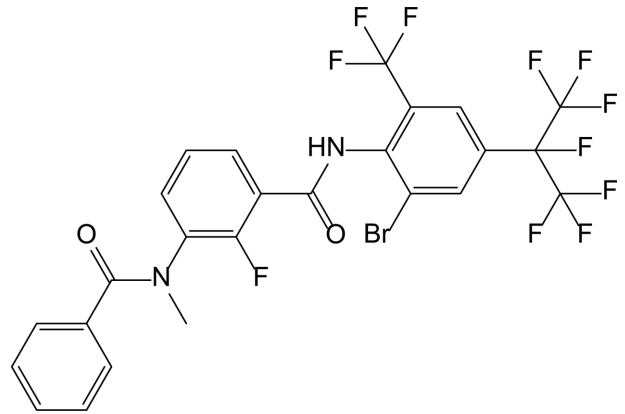


Fig. 1. Chemical structure of broflanilide (IUPAC: 3-[benzoyl(methyl)amino]-2'-bromo-2-fluoro-4'-[1,2,2,2-tetrafluoro-1-(trifluoromethyl)ethyl]-6'-(trifluoromethyl)benzanilide).

K_{ow} 5.2), 작물 표면의 왁스(wax)층이나 외부 조직(과피 등)에 상대적으로 강하게 잔류할 가능성이 있다(Turner, 2021). 국내 기준에서도 감에 대한 broflanilide 잔류허용기준이 설정되어 있으나(예: 0.2 mg/kg), 과피의 왁스층과 꼭지의 함몰·주름진 표면 구조의 차이점이 뚜렷해 농약의 부착·분포 및 세척에 따른 저감 양상이 부위 특이적으로 달라질 수 있으므로 생산·유통 이후 가정에서의 잔류 관리의 실효성을 높이기 위한 자료 축적이 요구된다(Ministry of Food and Drug Safety, 2025).

본 연구의 목적은 우선적으로 감(대봉감)을 대상으로 살충제 broflanilide의 잔류량을 신뢰성 있게 정량할 수 있는 LC-MS/MS 기반 잔류분석법을 QuEChERS 전처리 조건에서 확립·검증하고 감의 부위(과피, 과육, 꼭지) 및 후숙 과실과 같이 매질 특성이 상이한 시료에서의 적용성을 확인하는 것이다. 이후 소비·유통 단계에서 실제로 적용 가능한 가정용 세척 조건(흐르는 수돗물 세척, 세척용액 침지 후 세척, 물리적 문지름 등)에 따른 잔류 저감 효과를 비교·평가하며, 더 나아가 침지 처리된 감을 상온에서 3주 정도 후숙시키는 동안 잔류량의 경시 변화를 추적함으로써 세척·후숙 과정이 broflanilide 잔류 특성에 미치는 영향을 통합적으로 구명하는데 있다.

재료 및 방법

시험약제 및 시약

Broflanilide (순도 100%) 분석용 표준품은 FUJIFILM Wako Pure Chemical Corporation (Osaka, Japan)에서 구입하였다. 농약제품인 broflanilide 5% 입상수화제(WG)는 SG Hankook Samgong Co., Ltd. (Seoul, Korea)에서 공급받았다. LC-MS급 methanol은 Thermo Fisher Scientific (Waltham, MA, USA)에서, HPLC급 acetonitrile은 Duksan Pure Chemicals

(Gyeonggi, Korea)에서, LC-MS급 water는 Merck (Darmstadt, Germany)에서 각각 구입하였다. Formic acid (>99%; Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)와 ammonium formate 용액(10 M; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)은 이동상 조제에 사용하였다. QuEChERS 추출용 시약(magnesium sulfate (MgSO₄) 4 g, sodium chloride (NaCl) 1 g, trisodium citrate dihydrate (Na₃C₆H₅O₇·2H₂O) 1 g, disodium hydrogensulfate sesquihydrate (Na₂HC₆H₅O₇·1.5H₂O) 0.5 g) 및 정제용 시약(primary-secondary amine (PSA) 25 mg과 MgSO₄ 150 mg)을 포함한 dSPE tube는 모두 Chiral Technology Korea (Daejeon, Korea)에서 구입하였다. 이 밖에 식품용 빙초산(Glacial acetic acid ≥99%; YOORIM Corporation, Busan, Korea), polyethylene glycol 4000, (PEG 4000; Shinyo Pure Chemicals Co., Ltd., Osaka, Japan) 및 sodium bicarbonate (NaHCO₃; Aekyung, Seoul, Korea)은 세척 시험에 사용하였다.

표준원액 및 매질보정 표준용액(matrix-matched standard)의 제조

Broflanilide 표준원액은 acetonitrile에 용해하여 1,000 mg/L가 되도록 조제하였다. 표준용액은 acetonitrile로 단계적으로 희석하여 10,000, 1,000, 500, 250, 100, 50, 25, 10, 5 및 2.5 ng/mL 농도로 조제하였다. 매질보정 표준용액은 농약 무처리 시료 추출액과 개별 표준용액을 1:1 (v/v) 비율로 혼합하여 최종 농도가 1.25–250 ng/mL가 되도록 조제하였으며, 이는 시료 1 kg 기준으로 0.0025–0.5 mg/kg에 해당한다. 모든 용액은 사용 전까지 -20°C에서 보관하였다.

감 세척 방법 비교

세척 실험에 사용한 시료의 품종은 대봉감이고, 경상남도 산청군에서 채취하였으며 시험농약이 잔류하지 않은 것을 확인한 후 사용하였다. 과실 표면에 잔류물을 형성하기 위해 broflanilide 5% 입상수화제를 안전사용기준에 준하여 조제한 2,000배 희석액에 온전한 과실을 5분간 침지 후 실온에서 24시간 자연 건조하였다. 각 세척 처리구당 감 5개를 하나의 반복으로 하였고, 총 3반복으로 수행하였다.

감 세척은 다음과 같이 수행하였다. 처리구 A (Treatment A)는 세척하지 않은 무처리 대조구이며, 처리구 B는 각 과실을 흐르는 수돗물로 12초간 한 번 세척하였다. 처리구 C는 3종류의 세척용액에 1분간 침지한 후 B 처리와 동일한 방법으로 세척하였다. 세척용액은 사용 직전 탈이온수에 다음과 같이 조제하였다: 빙초산 1.0% (v/v), PEG 4000 0.2% (w/v), NaHCO₃ 10% (w/v). 세척 후 시료는 실온에서 4시간 동안 자연 건조하여 물기를 제거하였다. 처리구 D는 흐르는 수돗물로 12초간 손으로 가볍게 문지르며 세척하였다. 건조 후에는 꼭지를 분리한 후, 식용부는 과피와 과육을 분리(박피)한 뒤 각각 별도로 균질화하였다.

침지 처리 후 후숙 기간별 경시 변화

감을 세척 방법 비교 시 수행한 농약 침지법과 동일하게 처리 후, 직사광선을 피한 실온의 상온 조건에서 1, 3, 7, 14, 21일 동안 후숙시켰다. 각 시점마다 과실 5개를 1반복으로 하여 3반복 시료를 채취하였다.

시료 전처리

균질화한 감 및 후숙 과육 시료는 citrate 완충 시약이 포함된 QuEChERS로 전처리하였다(European Committee for Standardization (CEN), 2008). 각 시료 10 g을 50 mL 원심 분리 튜브에 칭량한 뒤 acetonitrile 10 mL를 가하고, 고속진탕기(1600 MiniG, SPEX SamplePrep, Metuchen, NJ, USA)를 사용하여 1,300 rpm에서 2분 동안 진탕하였다. 이어서 QuEChERS 염을 첨가한 후 동일한 조건에서 2분 추가 진탕하고, 원심분리기(ScanSpeed 1248, LABOGENE, Allerød, Denmark)를 이용하여 4,000 rpm에서 5분 동안 원심분리하였다. 상등액 1 mL를 dSPE tube에 옮긴 후 1분간 혼합한 뒤, 마이크로원심분리기(M15R, Hanil Scientific, Gimpo, Korea)를 이용하여 13,000 rpm에서 5분 동안 원심분리하였다. 이후 얻어진 상등액 0.3 mL에 acetonitrile 0.3 mL를 혼합하여 매질보정 하였다. 감 꼭지는 기본적으로 동일한 절차를 따르되, 시료 2 g에 water 8 mL를 가하여 30분 동안 습윤화한 뒤 acetonitrile 8 mL를 이용하여 추출하였으며, 이후 분배, dSPE 정제 및 1:1 (v/v) 매질보정 단계를 동일하게 적용하였다.

분석법 검증

Broflanilide의 분석법상 정량한계(method limit of quantitation; MLOQ)는 동일 조건에서 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio; S/N)가 10을 초과하는 가장 낮은 검량 농도로 정의하였다. 또한 농약 무처리 시료 추출액과 표준용액을 1:1 (v/v) 비율로 혼합하여 1.25–250 ng/mL 범위의 8개 농도 수준으로 조제한 매질보정 표준 검량선을 이용하여 직선성을 평가하였으며, 선형 회귀분석 결과 결정계수(*r*²)가 0.990 이상인 경우를 적합한 것으로 보았다. 회수율은 추출 전의 농약 무처리 시료에 0.01 및 0.1 mg/kg 수준으로 표준용액을 처리한 후 전처리 하여 얻은 추출액을 분석하여 산출된 농도를 목표 농도에 대한 백분율로 계산하여 평가하였다. 매질효과(matrix effect percentage; % ME)는 동일한 LC-MS/MS 조건에서 작성한 매질보정 표준 검량선과 용매기반 표준 검량선의 기울기를 비교하여 다음 수식과 같이 계산하였다.

$$\%ME = \left(\frac{\text{Slope of matrix matched standard calibration}}{\text{Slope of solvent standard calibration}} - 1 \right) \times 100$$

LC-MS/MS 기기조건

잔류농약 분석은 LCMS-8040 triple-quadrupole mass

spectrometer (Shimadzu, Kyoto, Japan) 및 Nexera UHPLC system (Shimadzu, Kyoto, Japan)를 사용하여 수행하였다. 이온화는 electrospray interface의 positive ion mode (ESI+) 조건에서 수행하였다. Q2 cell에서의 collision-induced dissociation (CID)을 위해 고순도 argon (99.999%)을 collision gas로 사용하였다. 질량분석기의 nebulizing gas 유량은 3 L/min, drying gas 유량은 15 L/min, desolvation line의 온도는 250°C, heat block의 온도는 400°C로 각각 설정하였다. 정성·정량 분석은 multiple reaction monitoring (MRM) mode로 수행하였으며, dwell time은 10.0 ms로 하였다. Broflanilide의 precursor ion은 m/z 665.40이었으며, product ion은 m/z 645.30 (quantifier, CE -20.0)와 m/z 625.30 (qualifier, CE -39.0)을 사용하였다. 분석을 통해 얻은 데이터는 LabSolutions (version 5.120)를 이용하여 머무름시간 및 MRM 이온비 기준으로 피크를 정성 확인한 뒤, 피크(peak) 적분을 통해 계산된 면적(area)으로 정량값을 평가하였다.

Column은 Kinetex PS C18 column (2.6 μ m, 3.0 \times 100 mm; Phenomenex, Torrance, CA, USA)을 사용하였고, column oven 온도는 40°C로 유지하였다. 이동상 유속은 0.2 mL/min으로 설정하였다. 이동상 A는 water에 0.1% formic acid와 5 mM ammonium formate를 첨가한 용액, 이동상 B는 methanol에 0.1% formic acid와 5 mM ammonium formate를 첨가한 용액으로 구성하였다. 시간에 따른 농도구배의 경우 이동상 B 기준 0.00–0.20분에 20% 비율(v/v)로 유지하고 0.20–0.50에 80%로 급격히 상승시킨 다음 0.50–6.00분 사이에 그 비율을 98%로 서서히 올려 해당 시간 내에 분석 물질이 용출되도록 하였다. 이후 6.00–9.00분 사이에 98%로 흘려 column 내 잔여 물질을 용출한 후 9.00–9.10분에 20%로 되돌리고, 다음 시료 분석을 위해 9.10–12.50분에 20%의 비율로 재평형하였다. Injection volume은 5 μ L로 설정하였다.

통계분석

통계분석은 세척 실험에서 얻은 broflanilide 잔류농도 (mg/kg)를 대상으로 수행하였다. 처리구별 각 반복($n=3$)에서 측정된 값을 평균(mean) \pm 표준편차(standard deviation; sd)로 제시하였다. 처리구 간 잔류농도 차이는 정량값이 확보된 경우에 한해 일원분산분석(one-way ANOVA)으로 검증한

뒤, 사후검정(Tukey's HSD)을 통해 평균 간 유의차를 비교하였고, 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다. 정량한계 미만 (<MLOQ)으로 보고된 값이 포함되어 처리구 간 비교가 정량값 기반으로 성립하지 않는 경우에는 해당 항목에 대한 유의성 검정을 수행하지 않았다.

결과 및 고찰

시료별 분석법 검증 결과

감은 과육뿐만 아니라 꼭지도 한약재로 이용되는 등 활용 부위가 다양하며, 후숙 과실로서 먹는 시기에 따라 형태가 달라지는 특징이 있다. 이들 부위는 수분, 당, 섬유질 및 색소 조성 등 매질 특성이 크게 달라, LC-MS/MS 분석 시 추출 효율과 이온화 양상이 서로 다르게 나타날 수 있다(Botero-Coy et al., 2015). 특히 매질이 달라짐에 따라 매질효과의 크기와 방향이 변하여 동일한 농도에서도 신호 응답이 왜곡될 수 있으므로, 과피, 과육, 꼭지, 후숙 과실에 대해 각각 매질보정 검량선과 회수율 및 정량한계를 포함한 개별 분석법을 확립·검증할 필요가 있다.

전처리하는 작물 중 다중농약 다성분 분석에 널리 사용되는 citrate-buffered QuEChERS법(EN 15662)을 기본으로 하였다(European Committee for Standardization (CEN), 2008). 감 과피(peel), 과육(flesh), 꼭지(calyx) 및 후숙 과실 시료에서 broflanilide의 분석법상 정량한계(MLOQ)는 일괄적으로 0.01 mg/kg로 확인되었으며, 매질보정 검량선의 결정계수(r^2)는 0.9984–0.9989 범위로 나타나 우수한 직선성을 보였다(Table 1). 농약 허용물질목록 관리제도(positive list system; PLS)는 특정 농약-농산물 조합에 대응되는 잔류허용기준(maximum residue limit; MRL)이 설정되지 않은 농산물에 대해 일률 기준 0.01 mg/kg을 적용하고 있으므로, 본 분석법의 MLOQ는 PLS 기준 농도에서 신뢰성 있게 정량이 가능한 수준임을 의미한다(Ministry of Food and Drug Safety, 2017). 더 나아가 broflanilide의 감(과실)에 대한 MRL이 0.2 mg/kg인 점을 고려하면(Ministry of Food and Drug Safety, 2025), 0.01 mg/kg의 MLOQ는 법적 허용기준의 5% 수준(1/20)에 해당하는 낮은 농도까지 정량이 가능함을 보여준다. 따라서 본 분석법은 감의 부위별 및 후숙 단계에서 broflanilide 잔

Table 1. Method validation parameters for broflanilide in different persimmon matrices by LC-MS/MS

Persimmon part	MLOQ (mg/kg)	Linearity (r^2)	Recovery, % (RSD, %)	
			0.01 mg/kg	0.1 mg/kg
Peel	0.01	0.9986	106.7 (9.5)	107.9 (0.9)
Flesh	0.01	0.9989	113.9 (3.5)	104.0 (4.0)
Calyx	0.01	0.9984	84.3 (6.3)	108.8 (3.5)
Post-ripened fruit	0.01	0.9986	96.1 (10.6)	104.6 (4.5)

류량이 PLS 일률기준 또는 감 MRL을 초과하는지 여부를 판정하는 것은 물론, 실제 작물 중 잔류수준이 규제 기준 대비 어느 정도의 안전 여유를 갖는지 정밀하게 평가하는 데 적합한 민감도를 확보한 것으로 판단된다. 또한 세척 및 후숙 경시 실험에서 0.01 mg/kg의 MLOQ는 broflanilide의 미량 잔류 변화를 PLS에서 요구하는 수준까지 추적하여 실제 가정·유통 단계에서 기대되는 잔류 저감 효과를 정량적으로 비교·평가할 수 있는 수치라는 점에서도 의의가 있다.

회수율은 MLOQ (0.01 mg/kg) 및 10 MLOQ (0.1 mg/kg) 두 수준에서 평가하였으며, 평가 대상 시료 전체에 대해 회수율 범위 84.3–113.9%였고, 3반복 시행에 따른 RSD는 0.9–10.6%로 모두 20% 이하였다(Table 1). 감 꼭지 시료 중 MLOQ 수준에서 회수율이 84.3%로 90%를 하회하였으나, 모든 시료는 SANTE/11312/2021 가이드라인의 성능 기준 (평균 회수율 70–120%, RSD ≤20%)에 따라 허용 범위 내에 해당하여 본 분석법의 정확도 및 반복정밀도가 확보된 것으로 판단하였다(European Commission, 2021). 회수율 평가는 감의 과피, 과육과 꼭지, 후숙 과실처럼 매질 조성이 크게 다른 시료군에 대해, 동일한 QuEChERS 기반 전처리 및 LC-MS/MS 조건이 추출·정제 과정에서의 손실 없이 broflanilide를 재현성 있게 회수할 수 있는지를 확인하는 핵심 근거가 된다. 따라서 확립된 분석법은 감의 다양한 식용 부위에 공통

으로 적용 가능한 신뢰도 높은 정량법으로 판단된다. 다중 농약 다성분 분석에서 QuEChERS는 acetonitrile 기반 salting-out 추출과 dSPE 정제를 결합해 다양한 농약을 광범위 매질에서 빠르게 처리하도록 설계되었고, 특히 PSA는 유기산·당류·색소 등 극성 공추출물의 영향을 줄이는 데 널리 활용되어 왔다(Anastassiades et al., 2003; Lehotay et al., 2005). 이러한 일반적 특성은 broflanilide를 대상으로 한 선행 연구에서도 확인되는데, citrate buffering과 PSA를 포함한 dSPE 조합이 낮은 %ME와 함께 유효 회수율을 제공하여 농산물 시료 전반에서 적용 가능성이 보고되었다(Noh et al., 2020).

시료 추출액에서 broflanilide의 매질효과(%ME)는 -12.5%에서 +1.3% 범위로 나타났다(Fig. 2). 과피는 +1.3%로 경미한 signal enhancement를 보인 반면, 과육(-12.5%), 꼭지(-3.7%), 후숙 과

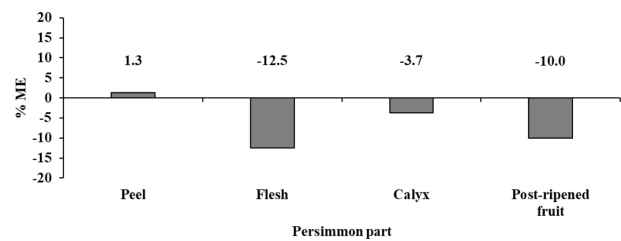


Fig. 2. Matrix effects percentages (%ME) of broflanilide in different persimmon parts determined by LC-MS/MS.

Table 2. Effects of household washing treatments on broflanilide residues in persimmon flesh, peel, and calyx

Sample	Washing method	Wash solution	Mean ± sd ^{a)}	Significance ^{b)}
Peel	Treatment A	-	0.383 ± 0.080	a
	Treatment B	-	0.155 ± 0.017	bc
	Treatment C	1.0% acetic acid	0.165 ± 0.016	b
		0.2% PEG 4000	0.115 ± 0.009	c
		10% NaHCO ₃	0.136 ± 0.013	bc
	Treatment D	-	0.061 ± 0.007	d
Flesh	Treatment A	-	0.066 ± 0.009	a
	Treatment B	-	0.013 ± 0.004	b
	Treatment C	1.0% acetic acid	<MLOQ	nd ^{c)}
		0.2% PEG 4000	<MLOQ	nd
		10% NaHCO ₃	<MLOQ	nd
	Treatment D	-	<MLOQ	nd
Calyx	Treatment A	-	40.2 ± 3.1	a
	Treatment B	-	21.0 ± 2.7	b
	Treatment C	1.0% acetic acid	18.1 ± 2.3	b
		0.2% PEG 4000	13.9 ± 2.6	b
		10% NaHCO ₃	13.5 ± 1.7	b
	Treatment D	-	21.4 ± 4.6	b

^{a)}Standard deviation.

^{b)}Different letters (a-c) indicate significant differences between quantified means ($p < 0.05$).

^{c)}not determined.

실(-10.0%)에서는 모두 0보다 작은 값으로 signal suppression이 관찰되었다. 과피를 제외한 모든 감 시료에서 %ME가 음의 값을 보인 것은, broflanilide의 이온화가 각 매질에서 공통적으로 일부 억제되는 방향으로 영향을 받았음을 의미하며, 이는 QuEChERS 기반 농약 잔류분석에서 매질 공출물에 의해 suppression이 우세하게 나타난다는 일반적 경향과도 일치한다(Matuszewski et al., 2003; Gosetti et al., 2010). 다만 모든 시료에서 %ME의 절댓값이 20% 이내로, 일반적으로 경미한 매질효과(negligible/soft matrix effect)로 분류되는 수준에 해당하였다(Lee et al., 2023). 그럼에도 불구하고, 모든 시료에서 매질효과가 $\pm 20\%$ 이내로 제한된 점은 감의 부위별 매질 조성이 상이함에도 불구하고 최종적으로 LC-MS/MS 이온화 단계에서의 간섭이 실무적으로 관리 가능한 수준이었음을 시사한다. 특히 citrate buffering 기반 QuEChERS 조건에서 broflanilide의 매질효과가 -18.3%에서 +18.8% 범위의 'low matrix effect'로 보고된 선행 연구는 본 연구의 %ME와 동일한 방향성의 근거를 제공한다(Noh et al., 2020).

감 세척 방법 비교 결과

세척 방법에 따른 감 부위별 broflanilide 잔류량을 비교한 결과는 Table 2에 제시하였다. 과피에서는 미세척 대조구(Treatment A)에서 0.383 mg/kg이 검출되었다. 수돗물 세척(Treatment B)은 0.155 mg/kg으로 대조구 대비 유의한 감소를 보였다. 세척 용액 처리(Treatment C) 중 1.0% acetic acid는 0.165 mg/kg, 0.2% PEG 4000은 0.115 mg/kg, 10% NaHCO₃는 0.136 mg/kg으로 나타났으며, 일부 처리구에서 잔류 수준에서 유의한 차이($p < 0.05$)가 확인되었다. 또한 Treatment D에서는 0.061 mg/kg으로 확인되어 모든 처리구 중 유의적으로 가장 낮은 잔류량을 나타냈다.

Broflanilide는 물에 대한 용해도가 낮고(Log K_{ow} 5.2), 이러한 물성은 단순 수세만으로는 표면 흡착·왁스층에 부분적으로 포획된 잔류를 완전히 제거하기 어렵게 만들 수 있다(Turner, 2021). 본 연구에서 수돗물 세척(Treatment B)만으로도 미세척 대비 잔류 농도가 40%로 유의하게 감소한 것은 흐르는 물에 의해 표면 부착 잔류물이 제거되는 효과로 설명될 수 있으며, 세척에 의한 잔류 저감이 용해뿐 아니라 물리적 탈착·제거에 의해 크게 좌우된다는 보고와도 일치한다(Bajwa and Sandhu, 2014; Yang et al., 2022). 한편 세척 용액을 적용한 Treatment C에서 PEG 4000가 수돗물 세척 대비 유의미하게 낮은 잔류를 보여, 비이온성 성분에 의한 탈착력 향상이 용해도가 낮은 broflanilide의 표면 잔류 제거에 추가적으로 기여했을 가능성을 시사한다(Du et al., 2025). 반면 acetic acid 및 NaHCO₃는 수돗물 세척과 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다. Broflanilide는 낮은 수용성과 중성적 화학적 성질(pKa 8.8)을 보이므로, 약산성/약알칼리성 용액으로 수용해도를 높일 수 없었을 것으로 보여 제거 효

율을 크게 높이지 못했을 수 있다(Turner, 2021). 마지막으로 Treatment D에서 잔류가 0.061 mg/kg으로 가장 낮게 확인된 점은, 과피 잔류의 경우 추가적인 물리적 작용(예: 표면 마찰 등)이 감의 왁스층에 잔존하는 표면 잔류를 떨어뜨리는데 결정적으로 작용할 수 있음을 보여주며, 이는 가정에서의 일반적인 세척에서 물리적 세척 강도가 저감 효과를 좌우한다는 선행 보고들과도 같은 맥락에서 해석할 수 있다(Bajwa and Sandhu, 2014; Yang et al., 2017).

과육에서는 미세척 대조구(Treatment A)에서 0.066 mg/kg이 검출되었고, 수돗물 세척(Treatment B) 후 잔류량은 0.013 mg/kg으로 유의하게 감소하였다($p < 0.05$, Table 2). 세척 용액을 적용한 처리구(Treatment C)에서는 모두 정량한계 미만(<MLOQ)으로 나타났으며, Treatment D에서도 정량한계 미만으로 확인되어 정량값 기반의 유의성 비교는 수행하지 않았다.

과육에서 세척 전 broflanilide 잔류량 대비 수돗물 세척 후 잔류량은 약 80% 감소하였다. 이는 잔류물이 과육 조직 내부로 침투했다기보다는, 시료의 절단 및 박피 과정에서 과피 잔류물이 도구(칼, 장갑 등)를 매개로 과육 시료 내로 일부 전이된 것으로 보인다. 이러한 과육에 대한 잔류 분석은 흐르는 물에 의해 상당량 물리적으로 제거될 수 있음을 시사한다. 또한 세척 용액을 적용한 처리구(Treatment C)와 물리적인 세척방식을 추가한 Treatment D에서 과육 잔류가 모두 정량한계 이하로 확인된 결과는 탈착 촉진 및 화학적 분해를 동반할 수 있어 단순 수돗물 세척보다 과육 시료로의 잔류물 전이 억제에 유리할 수 있다. 다만 본 결과에서 Treatment C와 D는 모든 반복이 <MLOQ로 나타나 처리 간 우열을 정량적으로 비교·통계화하기 어렵고, 따라서 과육에 대해서는 '특정 세척용액의 상대적 효율'보다는 '해당 조건에서 정량 가능한 수준 이하로 저감 가능'하다는 점을 중심으로 해석하는 것이 타당하다.

감 꼭지에서는 미세척 대조구(Treatment A)에서 40.2 mg/kg으로 가장 높게 검출되었으며, 수돗물 세척(Treatment B) 후 잔류량은 21.0 mg/kg으로 유의하게 감소하였다($p < 0.05$, Table 2). 세척 용액 처리(Treatment C) 중 acetic acid는 18.1 mg/kg, PEG 4000은 13.9 mg/kg, NaHCO₃는 13.5 mg/kg으로 확인되었으며, NaHCO₃ 처리구가 가장 낮은 잔류량을 보였으나 유의미한 차이는 없었다. Treatment D의 잔류량은 21.4 mg/kg으로 측정되어 Treatment B와 유의한 차이가 없었다.

꼭지에서는 미세척 대조구(Treatment A) 잔류 농도가 과피 대비 100배 이상으로 현저히 높았는데, 이는 살포액이 과실 상단의 함몰부와 꽃받침 표면에 직접 부착·잔류하기 쉽고, 조직의 질량 대비 노출 표면적이 커 단위 중량당 잔류가 상대적으로 고농도로 나타날 수 있기 때문이다. 감 꼭지는 탄닌을 포함한 페놀계 성분이 풍부하고 한약 처방 재료로도

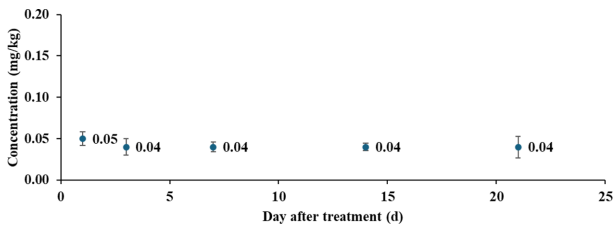


Fig. 3. Broflanilide residues (mg/kg) in unwashed persimmon (Daebong) during post-ripening as a function of days after treatment (1–21 d).

이용되는 부위이므로, 해당 부위에서 높은 잔류가 확인된 점은 일반적으로 비가식 부위라도 안전성 관점에서 별도 관리(세척·제거·가공)가 필요함을 시사한다(Yoshimura et al., 2021). 세척 처리에 따라서는 수돗물 세척(Treatment B)만으로도 21.0 mg/kg까지 유의하게 감소하였으나, 추가 물리적 처리(Treatment D) 후에도 잔류량 21.4 mg/kg으로 Treatment B와 유사하였다. 이는 꼭지의 함몰·주름진 표면 구조로 인해 단순 기계적(손) 세척만으로는 잔류 저감이 제한적일 수 있음을 보여준다. 세척용액을 적용한 처리구(Treatment C)에서는 수돗물 세척보다 잔류량이 다소 감소하였으나, 서로 유의한 차이가 없음이 확인되었다. 이는 잔류물이 틈새에 갇혀 있거나 강하게 부착되어 추가적인 세척용액에 의한 탈착 효과가 크지 않은 것으로 판단된다. 감 꼭지는 식용 가능 부위라는 점을 고려할 때, 세척만으로는 잔류 저감에 한계가 있을 수 있음을 전제로 꼭지의 분리·제거 또는 추가 가공을 포함한 관리 전략과 함께 꼭지를 별도 대상으로 한 잔류 모니터링의 필요성을 뒷받침한다.

대봉감 후숙 경과일에 따른 잔류 양상

대봉감은 단감과 달리 수확 직후에는 수용성 탄닌에 의해 떫은맛이 강하므로, 일반적으로 후숙(탈삼) 과정을 거쳐 떫은맛을 감소시킨 뒤 식용하는 특징이 있다(Baek et al., 2025). 농약 침지 후 세척하지 않은 대봉감을 후숙하여 홍시로 연화시키는 동안의 broflanilide 잔류량 변화는 Fig. 3에 나타내었다. 후숙 경과일에 따른 잔류량은 처리 후 1일 0.05 mg/kg에서 3일 0.04 mg/kg으로 소폭 감소한 뒤, 7일–21일에서도 유사한 수준을 유지하여, 후숙 기간 전반에 걸쳐 큰 변동 없이 일정한 잔류 경향을 보였다.

이때 감(과실)에 설정된 broflanilide의 MRL인 0.2 mg/kg을 고려하면, 세척하지 않은 상태에서 후숙을 진행하였음에도 모든 측정 일자에서 잔류량은 MRL 대비 현저히 낮은 수준(20–25%)으로 확인되었다. 수확 후 저장·후숙 과정에서는 과실 표면을 통한 수분 손실(증산)에 의해 생체중은 감소될 수 있으며, 이러한 수분함량 변화는 동일한 잔류량(절대량)이 유지될 경우 mg/kg 기준의 농도 값을 오히려 증가시키는 방향으로 작용할 수 있다(Yoo et al., 2019). 그럼에도 잔류

농도가 후숙 전 기간에 걸쳐 거의 일정하게 관찰된 점은, 후숙 조건에서의 수분 감소에 따른 농축 효과가 크지 않았거나, 후숙 중 잔류의 감소(분해/재분배 등)가 수분함량 변화에 따른 농도 변화를 상쇄했을 가능성을 시사한다. 후숙은 소비 단계에서의 일종의 가공 과정이므로, 해당 결과는 후숙 상태의 시료를 채취하더라도 수확 직후와 유사한 수준에서 MRL 준수 여부를 모니터링할 수 있음을 의미한다. 또한 저장·후숙 중 수분 손실은 잔류 농도의 농축(가공계수 증가)을 유발할 수 있음에도 불구하고, 본 조건에서는 그 영향이 제한적이어서 후숙을 고려한 별도의 농축계수(processing factor)를 크게 적용하지 않아도 될 근거를 제공한다(Bajwa and Sandhu, 2014).

결론

본 연구에서는 감(대봉감)을 대상으로 citrate-buffered QuEChERS 전처리와 LC-MS/MS 조건을 적용하여 broflanilide의 부위별(과피, 과육, 꼭지) 및 후숙 시료에 대한 잔류분석법을 확립하고 검증하였다. 확립된 방법의 MLOQ는 모든 매질에서 0.01 mg/kg이었으며, 매질보정 검량선은 $r^2 > 0.99$ 로 우수한 직선성을 보였다. 회수율은 84.3–113.9%이고 RSD는 0.9–10.6%로 분석법상 허용기준을 만족하였으며, 매질효과는 -12.5%에서 +1.3% 범위로 전반적으로 경미하여 감의 다양한 매질에서도 실무적 잔류 모니터링에 적용 가능한 분석 신뢰성을 확보하였다.

가정용 세척 방법에 따른 broflanilide 잔류 저감 평가에서 과피는 흐르는 수돗물 세척만으로도 잔류 농도가 60% 감소하였고, PEG 4000과 같은 비이온성 세제나 손으로 문지르는 물리적 세척을 병행하면 저감 효과가 더욱 크게 나타났다. 과육은 세척 후 잔류량이 정량한계 부근(0.013 mg/kg) 또는 정량한계 미만 수준으로 낮아져, 소비 단계의 일반적인 세척이 식용부 중 농약 잔류를 효과적으로 저감할 수 있음을 시사한다. 반면 감 꼭지는 초기 잔류가 매우 높고 세척 용액과 같은 화학적 방법이나 손세척과 같은 물리적 방법을 병행하여도 저감이 제한적이므로, 꼭지를 한약재 등 식용으로써 활용하는 경우 별도 관리·모니터링의 필요성이 제기된다. 또한 세척하지 않은 상태로 후숙을 진행해도 1–21일 동안 과육 잔류는 0.04–0.05 mg/kg 수준에서 큰 변동 없이 유지되었고, 국내 감 중 broflanilide 잔류허용기준(MRL 0.2 mg/kg) 대비 낮아 본 조건에서 후숙 과정이 농약 잔류 농도를 크게 변화시키지 않음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 식품의약품안전처의 연구개발비(25192MFDS004)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Author Information and Contributions

Tae-Gyu Min, Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Master's Student, <https://orcid.org/0009-0007-2138-2780> (conceptualization, validation, writing—original draft preparation, visualization)

Jae-Woon Baek, Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Master's Student, <https://orcid.org/0009-0004-5511-9022> (conceptualization, validation, software)

Yoon-Hee Lee, Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Master's Student, <https://orcid.org/0000-0002-7896-7743> (formal analysis)

Yong-Won Cho, Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Master's Student, <https://orcid.org/0009-0003-0129-4944> (investigation)

Da-Geon Lee, Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Master's Student, <https://orcid.org/0009-0004-0499-509X> (resources)

Won-Guen Oh, Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Master's Student, <https://orcid.org/0009-0009-1281-3109> (data curation)

Jae-Lim Seo, Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Master's Student, <https://orcid.org/0009-0000-7435-9217> (methodology)

Min-Young Lee, Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Master's Student, <https://orcid.org/0009-0002-7983-0447> (methodology)

Yongho Shin, Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Professor, <https://orcid.org/0000-0001-5942-7154> (supervision, project administration, funding acquisition, writing—review and editing)

Literature Cited

Acoglu B, Omeroglu PY, 2021. Effectiveness of different type of washing agents on reduction of pesticide residues in orange (*Citrus sinensis*). *LWT*. 147:111690.

Anastassiades M, Lehotay SJ, Štajnbaher D, Schenck FJ, 2003.

Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce. *J. AOAC Int.* 86(2):412-431.

Baek MW, Chang SM, Park D, Tilahun S, Jeong CS. Distinct Transcriptomic Profile Underlying High CO₂ and Ethylene-Induced Deastringency in ‘Daebong’ Persimmon Fruit. *Current Issues in Molecular Biology* 2025. doi:10.3390/cimb47090689.

Bajwa U, Sandhu KS, 2014. Effect of handling and processing on pesticide residues in food- a review. *J. Food Sci. Technol.* 51(2):201-220.

Botero-Coy AM, Marín JM, Serrano R, Sancho JV, Hernández F, 2015. Exploring matrix effects in liquid chromatography–tandem mass spectrometry determination of pesticide residues in tropical fruits. *Anal. Bioanal. Chem.* 407(13):3667-3681.

Das PR, Eun J-B, 2021. Removal of astringency in persimmon fruits (*Diospyros kaki*) subjected to different freezing temperature treatments. *J. Food Sci. Technol.* 58(8):3154-3163.

Du X, Ho L, Li S, Doherty J, Lee J et al., 2025. Efficacy of Household and Commercial Washing Agents in Removing the Pesticide Thiabendazole Residues from Fruits. *Foods*. 14(2):318.

European Commission, 2021. Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed (SANTE/11312/2021, Rev. 2). Brussels, Belgium.

European Commission, 2025. Information note on Article 20 of Regulation (EC) No 396/2005 as regards processing factors, processed and composite food and feed. Brussels, Belgium.

European Committee for Standardization (CEN), 2008. Foods of plant origin—Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and clean-up by dispersive SPE—QuEChERS-method. Brussels, Belgium.

Gosetti F, Mazzucco E, Zampieri D, Gennaro MC, 2010. Signal suppression/enhancement in high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. A.* 1217(25):3929-3937.

Insecticide Resistance Action Committee, 2025. Mode of Action Classification Scheme.

Kaushik G, Satya S, Naik SN, 2009. Food processing a tool to pesticide residue dissipation – A review. *Food Research International*. 42(1):26-40.

Lee H, Cho Y, Jung G, Kim H, Jeong W, 2023. Comparison of recovery efficiency and matrix effect reduction in pesticide residue analysis: QuEChERS with d-SPE, SPE, and FaPEX in apples and Korean cabbage. *Anal. Methods*. 15(30):3709-3716.

Lehotay SJ, Kok Ad, Hiemstra M, Bodegraven Pv, 2005. Validation of a Fast and Easy Method for the Determination of Residues from 229 Pesticides in Fruits and Vegetables Using Gas and Liquid Chromatography and Mass Spectrometric

Detection. *J. AOAC Int.* 88(2):595-614.

Matuszewski BK, Constanzer ML, Chavez-Eng CM, 2003. Strategies for the Assessment of Matrix Effect in Quantitative Bioanalytical Methods Based on HPLC-MS/MS. *Anal. Chem.* 75(13):3019-3030.

Ministry of Food and Drug Safety, 2017. Positive List System for pesticide residues in food. <http://www.mfds.go.kr/> (Accessed January 15, 2026).

Ministry of Food and Drug Safety, 2025. Pesticide MRLs in Food. <http://www.mfds.go.kr/> (Accessed January 15, 2026).

Noh HH, Kim CJ, Kwon H, Kim D, Moon B-c et al., 2020. Optimized residue analysis method for broflanilide and its metabolites in agricultural produce using the QuEChERS method and LC-MS/MS. *PLoS One.* 15(10):e0235526.

Omeroglu PY, Acoglu Celik B, Koc Alibasoglu E, 2022. The Effect of Household Food Processing on Pesticide Residues in Oranges (*Citrus sinensis*). *Foods.* 11(23):3918.

Organisation for Economic Co-operation Development, 2008. Guidance Document on Magnitude of Pesticide Residues in Processed Commodities. Paris, France.

Turner JA, 2021. The Pesticide Manual: A World Compendium (19th ed) British Crop Production Council (BCPC). Cambridge, England.

Yang S-J, Mun S, Kim HJ, Han SJ, Kim DW et al., 2022. Effectiveness of Different Washing Strategies on Pesticide Residue Removal: The First Comparative Study on Leafy Vegetables. *Foods.* 11(18):2916.

Yang T, Doherty J, Zhao B, Kinchla AJ, Clark JM et al., 2017. Effectiveness of Commercial and Homemade Washing Agents in Removing Pesticide Residues on and in Apples. *J. Agric. Food Chem.* 65(44):9744-9752.

Yiğit N, Velioglu YS, 2023. Effect of Processing Type and Storage Time on Some Pesticide Residues in Strawberries. *Akademik Gıda.* 21(1):1-12.

Yoo J, Kang I-K, Ryu S, Nay MW, Lee J, 2019. Effect of Application Timing of Deastringency and 1-Methylcyclopropene Treatments on Fruit Quality Attributes and Physiological Disorders of Two Astringent Persimmon Cultivars during Cold Storage. *Horticultural Science and Technology.* 37(3): 384-394.

Yoshimura M, Mochizuki A, Amakura Y, 2021. Identification of Phenolic Constituents and Inhibitory Activity of Persimmon Calyx and Shiteito against Tumor Cell Proliferation. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin.* 69(1):32-39.

감 중 Broflanilide 잔류분석법 확립 및 세척·후숙 과정 중 잔류량 변화 평가

민태규 · 백재운 · 이윤희 · 조용원 · 이다건 · 오원근 · 서재림 · 이민영 · 신용호*

동아대학교 응용생명과학과

요 약 감(*Diospyros kaki* Thunb.)은 후숙을 거쳐 섭취되는 껍질은 많은 부분이 많이 소비 단계 전처리에 따른 잔류농약 변화 자료가 필요하다. 본 연구는 대봉감을 대상으로 살충제 broflanilide의 잔류분석법을 확립하고 가정용 세척 및 후숙 중 잔류량 변화를 평가하였다. 시료(과피, 과육, 꼭지 및 후숙 과육)는 citrate-buffered QuEChERS법으로 전처리 후 LC-MS/MS로 분석하였다. 분석법상 정량한계(MLOQ)는 모든 매질에서 0.01 mg/kg이었고 매질보정 검량선의 결정 계수(r^2)는 0.9984-0.9989였다. 회수율은 84.3-113.9% (RSD 0.9-10.6%)였으며, 매질효과는 -12.5%에서 +1.3%로 경미한 수준이었다. 세척 방법 비교 시 과피 잔류량은 미세척 0.383 mg/kg에서 수돗물 세척 0.155 mg/kg으로 60% 감소하였고 추가 손세척은 0.061 mg/kg으로 가장 낮았다. 과육은 미세척 0.066 mg/kg에서 수돗물 세척 후 0.013 mg/kg으로 감소하였으며, 1.0% acetic acid, 0.2% PEG 4000, 10% NaHCO₃ 침지 후 세척 및 문지름 세척에서는 모두 <0.01 mg/kg였다. 감 꼭지는 미세척 40.2 mg/kg에서 수돗물 세척 후 21.0 mg/kg으로 감소하였으나 추가적인 세척용 액이나 손세척의 효과는 제한적이었다. 꼭지는 한약재 등으로 활용될 수 있는 부위이므로 고농도 잔류 가능성을 고려한 별도 모니터링이 요구된다. 미세척 침지 과육을 1-21일 후숙했을 때 잔류 농도는 0.04-0.05 mg/kg 범위로 큰 변동이 없었고, 이는 국내 감 중 broflanilide 잔류허용기준(0.2 mg/kg) 대비 20-25% 정도로 낮은 수준이었다.

색인어: Broflanilide, 잔류분석, 감, 세척, 후숙