

세종지역 유통 식육 중 벤지미다졸계 구충제 잔류실태 조사

김태평^{1*} · 김태원² · 이종훈¹ · 김문배¹

세종시보건환경연구원¹, 충남대학교 수의과대학²

Investigation of benzimidazole residues in the meat in Sejong area

Tae Pyoung Kim^{1*}, Tae Won Kim², Jong Hoon Lee¹, Mun-Bae Kim¹

¹Sejong City Institute of Health and Environment, Sejong 30015, Korea

²College of Veterinary Medicine, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Received July 13, 2021
Revised August 23, 2021
Accepted August 23, 2021

Corresponding author:

Tae Pyoung Kim

E-mail: lama2015@korea.kr

https://orcid.org/0000-0002-4728-7569

Benzimidazole is an widely used anthelmintics in livestock clinics. The aim of present study was to investigate benzimidazole residues in the meat in Sejong City. A total of 338 samples of meat (beef 287, pork 37, chicken 14) were selected from the laboratory meat (Korean beef genetic test, hygiene test) supplied to school in Sejong City. Representative benzimidazole class drug such as thiabendazole, 2-amino albendazole sulfone, fenbendazole, oxfendazole, and oxfendazole sulfone were monitored in samples by using lc-ms/ms and the analysis was preformed based on the Korea Food Code guideline. Limit of quantitation (LOQ) was ranged from 0.56 to 3.02 ppb for target drugs and the accuracy was within the acceptance criteria. Among the sample analyzed only one case, the pork meat was found to have drug levels that exceed LOQ. However, the overall residue concentration was 2.17 ppb, which was lower than the maximum residue levels (100 ppb).

Key Words: Benzimidazole, Fenbendazole, LOD, LOQ, Calibration curve

서론

벤지미다졸계 약물은 기생충 세포 내 유리 베타-튜불린(β -tubulin)에 높은 결합 친화성으로 인해 기생충 미세관 중합을 선택적으로 억제하여 기생충을 사멸시키는 항기생충제이다 (McEvoy 등, 2006).

벤지미다졸계 약물은 벤젠 고리와 이미다졸 고리가 접합된 기본구조에 잔기가 부착되어 있는 구조로 1960년대 초에 출시된 티아벤다졸을 비롯하여 1970년대에 메벤다졸, 옥시벤다졸, 펜벤다졸, 옥스펜다졸 및 알벤다졸 등 후속 약물이 출시되어 널리 사용되고 있다(Furtado 등, 2016).

벤지미다졸계 약물은 특히 소 및 양의 위장관내에 기생하는 선충 또는 회충에 감수성이 높고 저렴하여 내부 기생충을 제어하기 위해 사용되고 있으며 (Kang 등, 2003) 국내에서는 식품

공전을 통해 기본물질과 그 대사체를 18종으로 구분하여 정량하고 식육 중 잔류 허용기준을 7가지(Table 1)로 구분하여 관리하고 있다(식품의약품안전처, 2020).

벤지미다졸계 약물은 높은 기생충 세포 베타-튜불린 선택성으로 인해 포유동물에서 미세관 의존적 포도당 흡수억제로 인한 임상 용량에서의 부작용은 보고된 바 없으나, 과용량을 투여한 경우에 발작, 과흥분, 저혈압, 서맥, 신독성, 간독성, 발적, 결막염, 다형 홍반, 스티븐스-존슨 증후군 및 혈관 부종을 동반한 약물 과민반응 등이 보고된 바 있다(Sullivan and Krieger, 1992).

또한, 최근 SNS를 통해 벤지미다졸계 약물이 기존의 화학 요법 및 방사선과 조합 시 항 종양 상승효과가 있는 것으로 알려졌으나, 동물을 대상으로 하는 용량 용법 및 안전성과는 별개로 인체 사용에 대한 안전성은 확립되지 않았으므로 벤지미다졸의 기

Table 1. Residual tolerance standards for veterinary drugs in meat (muscle) 2017

No	Compound	ADI (mg/kg bw/day)	Maximal residual limit (mg/kg)		
			Beef	Pork	Chicken
1	Mebenazole	0.0125	-	0.06	0.06
2	Albendazole	0.005	0.1	0.1	0.1
3	Oxibendazole	0.06	0.1	0.1	-
4	Oxfendazole	0.007	0.1	0.1	-
5	Triclabendazole	3	0.2	-	-
6	Thiabendazole	0.1	0.1	0.1	-
7	Flubendazole	0.012	-	0.01	0.2

회 노출에 주의해야 한다(Son 등, 2020).

최근 농산물 내 농약 모니터링 제도인 PLS (positive list system)를 축산물물 영역까지 확대 적용하여 예기치 못한 동물약품 노출로부터 안전한 먹거리를 제공하고자 하는 노력이 지속되고 있는 가운데 세종시에서는 축산물 안전성 검사계획(식품의약품안전처, 2020)에 따라 구충제 13종에 대하여 년 간 750건(소 150, 돼지 400, 양 100, 말 100) 모니터링 검사를 실시 중에 있다. 본 연구를 통해 전체 도축되는 두수에 비하여 검사 건수가 부족한 구충제 잔류평가를 세종시에 유통되고 있는 학교 급식용 식육을 대상으로 구충제 잔류실태를 조사하였다.

재료 및 방법

시료

분석의 신뢰성을 제고하기 위한 충분한 양의 시료 확보를 위해 2020년 1월부터 12월까지 세종특별자치시 학교에 공급되는 급식용 식육 및 시험소 자체 수거검사(한우 유전자검사, 위생검사)용 식육(쇠고기, 돼지고기) 432점 중에서 324점을 무작위 선택하였고, 닭고기의 경우 관내에서 23차례 200만수를 도축하기 전에 채취된 14점을 검체로 선택하였다. 시료는 근육 부위를 대상으로 선택하였으며, 시료의 특성을 고려하여 소분한 후 영하 20℃ 이하의 온도에 보관하였다. 한편, 실험 시 냉장고에서 해동하여 분석에 공여하였다.

표준용액 및 시약 조제

표준품으로 Kemidas BEZ Mix-18a (M8293-20s)을 사용하였고 내부표준물질로 Oxibendazole d7을 사용하였다. 혼합표준용액은 표준원액을 메탄올로 희석하여 1 ppb~50 ppb까지

6단계로 희석하여 준비하였으며 내부 표준물질로는 옥시벤다졸-D7 표준품을 100 mL 용량플라스크에 정밀히 달아 DMSO로 표지선까지 채워 100 mg/L가 되게 한 후 메탄올로 희석하여 1 mg/L가 되게 하였다. 분석에 사용한 맥바인(MacIlvaine) 완충용액(pH 2)은 0.1 M 구연산 500 mL에 0.2 M 인산나트륨 45 mL 첨가하여 pH 2를 맞춰 준비하였으며 산화방지 용액은 250 mL 용량플라스크에 Na₄-EDTA (Tetra sodium-Ethylene Diamine Tetraacetate Acid) 0.07 g, 아스코르빈산 9 g을 넣고 D.W.로 표지선까지 채워 마련하였다.

시험용액의 조제

균질화한 검체 4 g을 50 mL 원심분리관에 취하고 산화방지용액 1 mL와 황산암모늄 2 g을 첨가하여 5분간 교반하였다. 균질화한 검체에 1 mg/L 옥시벤다졸-D7(내부표준물질)를 200 ppb로 희석하여 500 µL를 첨가한 후 10분간 평형화시켰다. 염화나트륨(NaCl) 0.3 g과 맥바인 완충용액 2 mL를 넣고 2분간 교반하였다. ①아세토니트릴 5 mL를 넣어 10분간 강하게 교반하고 0℃에서 5,000 G 로 20분간 원심분리한 후 상층액을 취하여 산화방지용액 50 µL를 첨가하였다. ②잔사에 아세토니트릴 5 mL를 넣어 15분간 강하게 교반하고 0℃에서 5,000 G 로 10분간 원심분리한 후 상층액을 취하여 산화방지용액 50 µL를 첨가하였다. ③와 ④의 상층액을 합한 후 MgSO₄ 900 mg과 일차 이차 아민(Primary secondary amine, PSA) 150 mg을 포함한 15 mL 원심분리관에 옮겨 5분간 균질화한 후 상온에서 5,600 G로 15분간 원심분리하였다. 상층액을 10 mL 등근바닥 플라스크에 옮겨 감압 농축한 후 메탄올 500 µL를 넣어 녹인다. 마이크로 원심분리기 튜브에 옮겨 0℃에서 3,500 G로 5분간 원심분리한 후 상층액을 분석에 공여하였다.

분석기 및 분석조건

LC MS/MS 기기는 Waters사(USA, Massachusetts)의 ACQUITY UPLC I-Class 와 Xevo TQ-XS를 사용하였으며 칼럼은 Waters ACQUITY UPLC®, C18 2.1 mm×100 mm, 1.7 µm)을, 이동상은 20 mM ammonium formate in D.W. (A)와 0.1% formic acid in ACN (B)을 gradient mode로 사용하였고 기기운영은 Masslynx를 사용하여 분석하였다(Table 2). 전처리 는 균질기로 Collomix VIBA x.30을 사용하였고, 원심분리기로 TOMY MX-307과 한일 냉장형 원심분리기 CONTINET-R 을 사용하였다.

Table 2. LC-MSMS conditions

Conditions	HPLC and MS			
Column	Waters ACQUITY UPLC®, C18, 1.7 μm 2.1×100 mm			
Mobile solvent	A: 20 mM ammonium formate in D.W. B: 0.1% formic acid in ACN			
Gradient	Time (m)	Mobile solvent A (%)	Mobile solvent B (%)	Curve
	0.0	83.0	17.0	0
	0.5	83.0	17.0	6
	3.5	55.0	45.0	6
	6.0	55.0	45.0	6
	7.0	5.0	95.0	6
	9.0	5.0	95.0	6
	12.0	83.0	17.0	1
Flow rate	0.3 mL/min			
Injection volume	3 μL			
Ionization mode	ESI positive (Keto-TrBZ: Negative)			
IS	Oxibendazole d7			
Temperature	450°C			
Collision gas	N2			
Operation mode	MRM mode			

0.35, 1.05, 페벤텔 0.41, 1.25, 펜벤다졸 0.24, 0.72, 옥스펜다졸 설폰 0.19, 0.56, 티아벤다졸 0.26, 0.79, 5-하이드록시 티아벤다졸 1.00, 3.02 이다. 모든 성분에서 상관계수 0.999 이상으로 적정상관성을 보였다(Table 4).

정성검사 결과

검사시료 338건(소 287, 돼지 37, 닭 14)을 정성검사한 결과 전체의 2%에 해당하는 7건(소 5, 돼지 2)에서 티아벤다졸과 알벤다졸, 옥스벤다졸 잔류를 확인하였다.

정량검사 결과

정성검사 결과 잔류양성으로 분류된 7건의 시료 정량검사에서 LOQ 이상으로 측정된 것은 1개의 시료 (Sample 6, 돼지)로 해당 시료에서 확인된 3가지 성분은 약물(펜벤다졸과 옥스펜다졸, 옥스펜다졸설폰)은 투약 후 대사에 의해 근육 내에 존재하는 것으로 식품공전을 근거로 이들 모두의 합으로 잔류량을 계산한 결과 펜벤다졸, 옥스벤다졸, 옥스벤다졸 설폰 값의 등가치로 환산하면 잔류 총량은 8.73 ppb인 것으로 확인되었다(Table 5).

결 과

분석조건 검증

장비 특성을 고려하여 질량분석기 Calibration 후 Multi Reaction Monitoring (MRM) parameter를 조정하여 진행하였다(Table 2). 정량검사를 위하여 “의약품등 시험방법 밸리데이션 가이드라인 해설서”(식품의약품안전평가원)에 따라 Matrix standard (Std)로 분석법 검증을 실시하여 LOD (검출한계) 및 LOQ (정량 한계)를 산출하였다.

정성검사에서 확인된 티아벤다졸, 2-아미노 알벤다졸 설폰, 페벤다졸, 옥시벤다졸, 옥시벤다졸 설폰의 매트릭스 스탠다드를 1~50 ppb 까지 6단계 희석하여 하루에 3번씩(Intraday), 3일간(Interday) 측정하여 절편(Intercept)의 표준편차(STD)와 표준편의 평균기울기(Slope)를 구하였다(Table 3).

측정 결과 정밀도(RSD)는 0.27~4.15%, 정확도(Accuracy)는 98.30~113.15% 범위였고, LOD(검출한계)는 STD/S에 3.3 배를 곱한 값으로, LOQ(정량한계)는 STD/S에 10배를 곱한 값으로 결정했다. 각 성분별 LOD (ppb)와 LOQ (ppb)는 알벤다졸 0.36, 1.09, 알벤다졸 설폰사이드 0.46, 1.39, 알벤다졸 설폰 0.42, 1.26, 2-아미노 알벤다졸 설폰 0.48, 1.44, 옥스펜다졸

고 찰

축산 식품안전을 확보하기 위한 다양한 노력이 이어지는 가운데 식품의약품안전처는 2024년 1월 1일부터 소·돼지·닭고기, 우유·달걀 등 5종 축산물에 대해 PLS 제도를 확대 시행할 예정으로 이에 따라 동물약품의 잔류허용기준 목록에 없는 물질의 경우 불검출 기준을 0.01 mg/kg 수준으로 적용하게 된다. 또한 이러한 제도를 뒷받침하기 위해 관계 부처에서는 연구 사업을 통해 시중의 여러 동물용의약품의 안전사용 기준을 재점검 중에 있으며 축산물 안전성 검사계획(식품의약품안전처, 2020)등을 통해 축산물의 위해 약물 잔류를 지속적으로 검사하고 있다. 본 연구에서는 세종시에 유통되고 있는 학교 급식용 식육을 대상으로 벤지미다졸계 구충제의 잔류실태를 조사하였다.

벤지미다졸계 구충제는 축산물 생산성 향상을 위해 소, 돼지 등에 경구제 또는 산제의 형태로 내·외부기생충구제를 목적으로 사용되고 있으며 이러한 벤지미다졸계 구충제는 휴약 기간을 준수하지 않고 가축을 출하할 경우 식육 중에 잔류되는 경우가 발생될 수 있어 우리나라에서는 소와 돼지에서 0.1 mg/kg의 잔류허용기준(알벤다졸, 페벤다졸, 옥스펜다졸, 티아벤다졸)을 적용하여 관리하고 있다(식품의약품안전처, 2021).

Table 3. Matrix Standard validation data (unit : ppb), RSD (residual standard deviation), std (standard concentration), Conc. cal. (calculated concentration)

Compound	Std	1 day	2 day	3 day	RSD	Conc. cal.	Accuracy
Albendazole	1	297895	286804	293365	1.91	1.17	116.62
	2	583938	561566	575576	1.97	2.15	107.52
	5	1453052	1376184	1415587	2.72	5.10	101.94
	10	2738819	2671317	2719340	1.28	9.63	96.33
	20	5742860	5526559	5596159	1.96	19.83	99.16
	50	14506054	14061660	14240624	1.57	50.12	100.24
	Slope	290273	281440	284788			
Intercept	-36894	-47107	-36778			103.64	
Albendazole sulfoxide	1	92223	96022	91395	2.65	1.16	116.38
	2	169447	167658	166646	0.84	2.07	103.63
	5	400383	395800	398095	0.58	4.87	97.46
	10	794278	786213	779870	0.92	9.60	96.01
	20	1687471	1685244	1635348	1.77	20.34	101.69
	50	4107636	4151112	4051818	1.21	49.95	99.90
	Slope	82303	83210	81088			
Intercept	1460	-6735	-2091			102.51	
Albendazole sulfone	1	49416	50020	48870	1.16	1.23	122.90
	2	101799	100783	99097	1.36	2.24	111.93
	5	243684	248425	248521	1.12	5.13	102.56
	10	468775	469875	461680	0.95	9.47	94.70
	20	993271	991909	978171	0.85	19.76	98.79
	50	2543712	2519431	2521230	0.54	50.18	100.35
	Slope	50978	50454	50491			
Intercept	-14230	-9913	-14271			105.21	
2-amino albendazole	1	30801	31424	31439	1.17	0.88	88.50
	2	46945	49762	49305	3.11	2.13	106.59
	5	82967	86114	84173	1.88	4.69	93.72
	10	154750	156789	154635	0.78	9.76	97.58
	20	308496	313862	306207	1.27	20.77	103.85
	50	721790	720187	704032	1.37	49.77	99.54
	Slope	14148	14084	13752			
Intercept	16782	19792	19935			98.30	
Oxfendazole	1	67832	67301	67966	0.52	1.24	124.36
	2	124706	127202	125665	1.00	2.18	109.15
	5	296273	301581	300821	0.96	4.99	99.77
	10	583729	579999	577375	0.55	9.52	95.24
	20	1240631	1229722	1209638	1.28	19.96	99.81
	50	3096279	3115907	3065799	0.82	50.10	100.20
	Slope	62049	62381	61319			
Intercept	-8477	-11299	-8127			104.75	
Oxfendazole sulfone	1	42208	41315	42059	1.14	1.33	133.28
	2	83237	81884	82582	0.82	2.29	114.62
	5	201718	199770	202593	0.72	5.09	101.85
	10	386219	381641	383000	0.61	9.39	93.89
	20	820621	817074	821112	0.27	19.67	98.33
	50	2124077	2098127	2126518	0.74	50.23	100.46
	Slope	42570	42072	42631			
Intercept	-14684	-13757	-15612			107.07	

Table 3. Continued

Compound	Std	1 day	2 day	3 day	RSD	Conc. cal.	Accuracy
Febantel	1	188038	187646	181660	1.92	1.42	142.15
	2	388969	389456	379077	1.52	2.50	125.23
	5	913038	901588	891715	1.18	5.30	106.00
	10	1595511	1655164	1626967	1.84	9.22	92.18
	20	3380618	3515773	3454668	1.96	19.10	95.48
	50	9014432	9378615	9335989	2.15	50.46	100.92
	Slope	179823	187538	186738			
	Intercept	-57296	-79187	-93812			110.33
Fenbendazole	1	295326	283696	283696	2.33	1.09	108.63
	2	607675	590590	590590	1.65	2.15	107.51
	5	1476476	1420119	1420119	2.26	5.05	101.09
	10	2779458	2710053	2710053	1.47	9.51	95.15
	20	5950897	5767692	5767692	1.81	20.18	100.92
	50	14863963	14292665	14292665	2.28	50.01	100.02
	Slope	297789	286337	286337			
	Intercept	-38610	-22143	-22143			102.22
Thiabendazole	1	111227	109744	106760	2.08	1.17	116.50
	2	223398	224630	217766	1.65	2.17	108.38
	5	528094	530472	513631	1.74	4.86	97.11
	10	1068986	1070971	1033288	2.00	9.60	96.03
	20	2310840	2270130	2168447	3.26	20.21	101.04
	50	5753889	5618949	5423078	2.97	50.00	100.00
	Slope	115668	112786	108763			
	Intercept	-30392	-16714	-18036			103.18
5-hydroxy thiabendazole	1	13846	13448	12753	4.15	1.65	164.99
	2	27761	27308	25800	3.81	2.51	125.33
	5	66926	66919	62529	3.88	4.93	98.62
	10	140027	136659	130743	3.46	9.36	93.60
	20	299122	292049	279585	3.41	19.08	95.42
	50	819405	792052	754632	4.12	50.47	100.94
	Slope	16504	15942	15201			
	Intercept	-14214	-12416	-11937			113.15

몇몇 예외를 제외하고 대부분의 벤지미다졸계 약물은 약물의 낮은 수용성으로 인해 제한된 장관흡수율을 보이며 담즙 경로가 장관을 통한 벤지미다졸의 배출과 재흡수에 있어 주요 경로로 알려져 있으나(Mottier 등, 2003) 약물의 대사와 관련한 연구는 사람을 대상으로 한 약동학 연구가 주를 이루고 식육 잔류와 관련한 연구 결과는 제한적인 것으로 알려져 있다.

본 연구는 2017년 식품공전 중 동물용의약품 시험법 개편 연구를 통해 개선된 동시분석법(식품의약품안전평가원, 2018) 및 식품공전(식품의약품안전처, 2020)의 분석 방법을 근거로 시료 추출 및 분석을 진행하였다. 생체 시료내 약물을 추출하기 위해 primary amine을 사용하여 벤지미다졸 약물을 지육으로부터 추출하였다. 이는 액액추출과 분산 고체상추출법을 결합한

QuEChERS 방법으로 2000년도 초반에 식품 및 농산물에 잔류하는 농약을 빠르게 스크리닝하기 위해 개발된 추출 방법이다(Lee 등, 2016). QuEChERS는 균질화한 시료에 유기용매와 완충염을 넣어 혼합하여 염과 극성 잔여물을 포함한 수용성 층과 타겟 약물을 포함한 유기용매층이 분리가 이뤄지는 원리로 본 연구에서는 황산마그네슘을 염으로 아세트나이트릴을 용매로 사용하여 약물을 추출하였다. 본 추출을 통해 얻어진 벤지미다졸계 약물의 LOQ는 0.22~1.27 ppb로 이는 유사한 추출 방법을 적용한 벤지미다졸계 약물의 소고기 식육잔류 분석법 검증 선행연구 결과(LOQ, 11.1~40.4 ppb)에 비해 낮은 수치를 보인 것으로 확인되어 본 연구에 활용한 추출 및 분석법의 적절성을 확인할 수 있었다(Silva 등, 2017).

Table 4. Detection limit and quantitation limit for each component (unit : ppb), $y=ax+b$ (a=slope, b=intercept), r^2 (coefficient of determination)

Compound		LOD (ppb)	LOQ (ppb)	$y=ax+b$	r^2
Albendazole	Albendazole	0.36	1.09	$y=283346.14x-26340.17$	0.99993
	Albendazole sulfoxide	0.46	1.39	$y=82355.02x-3455.85$	0.99991
	Albendazole sulfone	0.42	1.26	$y=50250.36x-10281.86$	0.99986
	2-amino albendazole sulfone	0.48	1.44	$y=14217.53x+17396.84$	0.99976
Oxfendazole/ fenbantel/ fenbendazole	Oxfendazole	0.35	1.05	$y=61916.09x-9301.30$	0.99990
	Oxfendazole sulfone	0.19	0.56	$y=42424.52x-14684.50$	0.99979
	Febantel	0.41	1.25	$y=184699.61x-76765.19$	0.99940
	Fenbendazole	0.24	0.72	$y=292623.05x-30750.78$	0.99991
Thiabendazole	Thiabendazole	0.26	0.79	$y=1122619.35x-23093.53$	0.99992
	5-hydroxy thiabendazole	1.00	3.02	$y=15451.84x-10072.98$	0.99938

Table 5. Benzimidazole quantitative assessment (unit: ppb, Beef sample: 1~5, pork: sample 6 and 7)

	Tiabendazole	Albendazole	Fenbendazole	Oxfendazole	Oxfendazole sulfone
Sample 1	0.1	-	-	-	-
Sample 2	0.6	-	-	-	-
Sample 3	0.2	-	-	-	-
Sample 4	-	0.2	-	-	-
Sample 5	-	0.8	-	-	-
Sample 6	-	-	2.5	1.2	4.7
Sample 7	-	-	0.4	-	0.3

또한 회수율을 비교하였을 때 본 시험의 추출회수율은 알벤다졸 81%, 펜벤다졸 79%, 옥시벤다졸 93%, 플루벤다졸 96%, 티아벤다졸 92%으로 ethyl acetate를 추출용매로 사용한 선행 연구(알벤다졸 75%, 펜벤다졸 80%, 옥시벤다졸 95%, 플루벤다졸 85%, 티아벤다졸 90%)와 유사한 것으로 나타났다(Lee 등, 2010).

이전 쇠고기 80건, 돼지고기 120건, 닭고기 70건, 총 270건을 수거 분석한 2010년 축산식품 중 벤지미다졸계 구충제 잔류실태 조사에서 3건의 돼지고기에서 fenbendazole이 검출된 바 있었으며 그 검출량의 수준(0.0012~0.0031 mg/kg)이 잔류허용기준인 보다 낮은 것으로 보고된 바 있다(이경진, 2010). 또한 2014년 서울지역에 유통 중인 식육 197건에 대한 결과보고에서도 잔류 허용기준 이상으로 검출된 식육은 없었으나 안전한 수준의 검출건수는 9건으로 돼지에서 플루벤다졸이 검출(0.0002~0.00085 mg/kg)된 것으로 확인되었다.

본 연구에서는 정성검사 결과 축종별로 소고기에서 티아벤다졸과 알벤다졸이 확인되었고, 돼지고기에서 펜벤다졸과 옥스펜다졸, 옥스펜다졸 설폰이 확인되었다. 또한 잔류양성으로 시료의 정량검사에서 LOQ 이상으로 측정된 것은 1개의 돼지고기 시료로 해당 검체 1 g에 대한 최종 잔류농도로 계산하면 2.17 ppb로서 ADI (7 ppb bw/day) 및 근육 잔류허용농도 100

ppb 보다 낮으므로 섭취하여도 안전하다고 판단된다(WHO, 1999; 식품의약품안전처, 2021).

결론

본 연구에서는 2020년 1월부터 12월 까지 세종시 소재 농장 및 유통되는 식육 338건(소 287, 돼지 37, 닭 14)을 분석하였다.

소고기에서 티아벤다졸(3건, 0.1~0.6 ppb), 알벤다졸(2건, 0.2 ppb, 0.8 ppb), 돼지고기에서 펜벤다졸(2건, 0.4 ppb, 2.5 ppb), 옥스펜다졸(1건, 1.2 ppb), 옥스펜다졸설폰(2건, 0.3 ppb, 4.7 ppb) 검출되었다.

검사를 통해 축종별로 서로 다른 벤지미다졸계 약품을 선호하는 것으로 추정할 수 있었으며 이들 모두 용량용법에 따라 적정하게 사용되어 잔류 위반 사례가 없음을 확인하였다.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Tae Pyoung Kim, <https://orcid.org/0000-0002-4728-7569>
 Tae Won Kim, <https://orcid.org/0000-0002-5239-3833>
 Jong Hoon Lee, <https://orcid.org/0000-0002-9417-0902>
 Mun-Bae Kim, <https://orcid.org/0000-0002-8555-8534>

REFERENCES

- 식품의약품안전처. 2020. 2020년 축산물 안전성 검사계획.
- 식품의약품안전처. 2020. 식품공전. 8.3.31.
- 식품의약품안전처. 2021. 식품의 기준 및 규격 고시 제2021-26호.
- 식품의약품안전평가원. 2018. 식품공전 중 잔류동물용의약품 분석법 개편 연구 12.
- 식품의약품평가원. 2015. 의약품 등 시험방법 벨리레이션 가이드라인 해설서.
- Deok Soo Son, Eun Sook Lee, Samuel E. Adunyah. 2020. The Antitumor Potentials of Benzimidazole Anthelmintics as Repurposing Drugs. *Immune Network* Aug;20(4):e29 doi: 10.4110/in.2020.20.e29.
- Eun Young Choi, Heyng Seok Seo, Kui Jeong Baek, Boo Bong Hur, Lee Won Seo, Dong Suk Joung, 2005. Study on analytical method of residual benzimidazole anthelmintics in meat by LC/MS. *Korean Journal of Veterinary Service* 28(1):81-89.
- Furtado LFV, de Paiva Bello ACP, Rabelo ÉML. 2016. Benzimidazole resistance in helminths: from problem to diagnosis. *Acta Trop* 162:95-102.
- Geral K. McEvoy, American Society of Health-System Pharmacists. 2006. American Hospital Formulary Service. AHFS Drug Information: Essentials 2006-2007:47.
- Guilherme Resende da Silva, Josefa Abucater Lima, Leonardo Francisco de Souza, Flávio Alves Santos, Mary Ane Gonçêç Lana, Débora Cristina Sampaio de Assis, Silvana de Vasconcelos Cançado. 2017. Multiresidue method for identification and quantification of avermectins, benzimidazoles and nitroimidazoles residues in bovine muscle tissue by ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry (UHPLC-MS/MS) using a QuEChERS approach. *Talanta* 171:307-320.
- John B. Sullivan. 1992. Clinical Principles of Environmental Health. pp. 1072. In: Gray R. Krieger(ed.). *Hazardous Materials Toxicology*. Williams&Wilkins. Philadelphia.
- Hyung Joo Kang, Mun Bae Kim, Jae Bong Lee, Bong Sik Kim, Young Kab Kim. 2003. Analysis for benzimidazoles in eggs. *Korean Journal of Veterinary Service* 26(2):157-162.
- Kyung Jin Lee, Young Woon Kang, Eungui Kang, Miran Kim, Kyeong Nyeo Bahn, Young Mi Jang, Meehye Kim. 2010. Determination of Benzimidazole Residues in Livestock Products. *Food science and biotechnology* 42(5):515-520
- T.D. Waal, M. Danaher. 2014. Veterinary Drugs Residues: Control of Helminths. *Encyclopedia of Food Safety Vol 3*: 81-85. doi: 10.1016/B978-0-12-378612-8.00249-3.
- Young Min Lee, Kyung Duk Zoh. 2016. Recent analysis of drug residues in food, *The Korean Journal of Public Health* 53(1):27-37.