



페룰산의 사료 내 첨가가 육계 생산성, 도체 특성, 혈중 성분 및 장내 균총에 미치는 영향

김용란¹ · 이상우² · 김은집^{3*}

¹연암대학교 축산학과 교수, ²연암대학교 축산학과 학생, ³연암대학교 축산학과 교수

Effects of Ferulic Acid-Based Preparation on Performance, Carcass Characteristics, Blood Profiles, and Intestinal Microflora of Broiler Chicks

Yong-Ran Kim¹, Sang-Woo Lee² and Eun-Jip Kim³

¹Professor, Department of Animal Science, Yonam College, Cheonan 31005, Republic of Korea

²Student, Department of Animal Science, Yonam College, Cheonan 31005, Republic of Korea

³Professor, Department of Animal Science, Yonam College, Cheonan 31005, Republic of Korea

ABSTRACT This study aimed to evaluate the dietary effects of ferulic acid-based preparation on the performance, blood profiles, and microflora of broiler chicks. A total of 400 chicks (1 day old Ross × Ross) were divided into 20 groups and assigned to four treatments: a basal diet (control) or a treatment diet containing 0.1%, 0.2%, or 0.3% ferulic acid-based preparation. The birds were fed from 1 to 30 d of age. Average daily gain improved compared to that in the control group in all periods ($P<0.05$). There was no significant difference between treatments in Average daily feed intake during all periods. Feed conversion ratio during starter (day 1 to 21) and total day 1 to 30 periods significantly improved ($P<0.05$) in the treatments containing ferulic acid-based preparation compared to that in the control. The total cholesterol levels in all the treatments containing ferulic acid-based preparation were significantly lower than that in the control ($P<0.05$). The globulin content was significantly higher ($P<0.05$) in the treatment with 0.2% and 0.3% ferulic acid-based preparations than that in the control and 0.1% ferulic acid-based preparation treatments. Among the treatments, there was no significant difference in the total number of cecal bacteria. The number of lactic acid bacteria significantly increased in all treatments containing ferulic acid-based preparation compared to that in the control ($P<0.05$). The number of *coliforms* significantly decreased in all treatments containing ferulic acid-based preparation compared to that in the control ($P<0.05$). In conclusion, the addition of ferulic acid-based preparation to the diet improved broiler performance, blood profiles, and intestinal flora.

(Key words: rice bran extract, ferulic acid, feed supplement, broiler performances, plant extract)

서론

페룰산(Ferulic acid)은 식물계에 분포하는 물질로 강력한 천연 항산화 물질의 한 종류이다(Szwajgier and Jakubczyk, 2011). 페룰산은 특히 식물의 씨앗에서 많이 함유되어 있으며 곡물류, 과일류 및 차류에서 주로 발견된다(Poquet et al., 2008; Li et al., 2011; Knokaert et al., 2012). 페룰산의 화학식은 $C_{10}H_{10}O_4$ 이고 분자량은 194로서, 뜨거운 물이나 알코올, 초산 에틸 등에 녹는 성질을 가지고 있으며, 페놀성 수산기(hydroxyl group, -OH), 이중 결합(double bond), 카르복

실기(carboxyl group, -COOH) 등의 관능기로 구성되어 있다. 페룰산은 다른 페룰산(phenolic acids) 성분들에 비해 체내에 쉽게 흡수가 되고 혈액에 오래 머무르며, 독성이 낮으며 멜라닌 색소의 재생을 억제하는 효과가 있어 화장품 원료로도 많이 사용된다(Zduńska et al., 2018). 페룰산은 암, 당뇨병, 폐, 심혈관 질환의 치료뿐 아니라 항균, 항염증 효과가 매우 뛰어난 물질로 알려져 있으며(Paiva et al., 2013), 다른 천연 항산화제에 비해 지방 및 단백질 대사에 더 효과적이며, 자연계에서 동물과 사람에게 항산화 작용을 하는 생리 활성 화합물이다(Torres et al., 2016).

* To whom correspondence should be addressed : Yoosong@yonam.ac.kr

페룰산을 가축 분야에 적용시 가축 생산성 및 면역 개선 효과뿐만 아니라 강력한 항산화제, 항염증제, 면역개선제로 활용될 수 있다(Saeed et al., 2018). 최근 페룰산을 양, 젖소, 돼지 등 다양한 축종에 적용하여 사료 첨가제로서의 효과를 입증하는 연구 자료들이 지속적으로 보고되고 있다. Soberon et al.(2012)은 페룰산을 낙농사료에 적용시 젖소에서 항산화, 항암, 항균 활성이 있고, 이 연구에서 젖소가 생산한 우유내 페룰산 함량에도 영향을 미치는 것을 확인하였다. Wang et al.(2020)은 이유 자돈 사료에 페룰산을 첨가한 연구에서 페룰산의 양돈사료 첨가가 이유 자돈의 항산화 능력과 지질 대사를 향상시킨다고 보고하였고, Wang et al.(2021)은 오리에 페룰산을 적용한 연구에서 페룰산의 오리사료 내 페룰산의 첨가는 생산성을 개선시키며, 여러 면역 지표와 장내 균총에 긍정적인 영향을 미친다고 보고하였다. 페룰산을 다양한 축종에 적용한 연구 결과들을 종합해 보면 페룰산의 사료 첨가제로서의 가치가 어느 정도 확인되었다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 페룰산이 주요 성분인 미강 추출물을 활용한 제품 RBEX을 육계 사료에 수준별 (0.1%, 0.2% 및 0.3%)로 첨가하여 육계 생산성, 도체 특성, 혈중 성분 및 장내 균총에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험 시료

시료로 사용한 원료는 페룰산이 주성분인 미강 추출물을 활용한 보조사료 제품 RBEX이며, 이 보조사료 제품은 (주)엠에스생명과학에서 공급받아서 시험에 활용하였다.

2. 실험 동물 및 실험 설계

본 실험에서는 1일령 Ross 육용종 수평아리를 공시하여, 개체별로 체중을 측정 후 4개 처리에 5반복으로 반복당 20수씩, 총 400수를 선발하여 완전 임의 배치하였다. 시험 기간은 1일령부터 30일령까지 총 30일 동안 실시하였다. 모든 공시 병아리에게는 1일령부터 21일령까지 육계 전기 사료를, 22일령부터 30일령까지는 육계 후기 사료를 각각 급여하였다. 실험에 사용한 사료의 배합비 및 영양소 조성은 Table 1에 나타내었다. 페룰산을 첨가하지 않은 대조구와 페룰산을 0.1%, 0.2%, 0.3% 첨가한 3개의 대조구로 총 4개의 처리구로 나누었다. 실험에 사용한 시험사료는 옥수수, 대두박을 기초로 배합하였으며, 시험사료의 배합비 및 영양소 조성은 Table 1에 나타내었다. 시험사료와 물은 자유 채식

및 자유 음수 시켰으며 사양관리는 ROSS 육계 사양 관리 지침(Aviagen, 2018)에 명시된 방법에 준하여 실시하였다. 체중은 전기종료일 21일령, 후기 종료일 30일령에 측정하였고, 사료 섭취량은 매주 측정하였다. 본 연구는 동물실험윤리위원회의 사전 승인을 받고(IACUC: 2021-007), 이에 규정에 준수하여 동물실험을 실시하였다.

3. 조사 항목 및 분석 방법

1) 육계 생산성(일당 증체량, 사료섭취량, 사료요구율)
1일령부터 21일령까지를 전기(starter)로 하였으며, 22일령부터 30일령까지를 후기(finisher)로 나누어 30일간 사료를 급여하였다. 사료섭취량은 매주 총 급여량에서 잔량을 제외하여 측정하였고, 증체량은 매주 종료시 체중과 개시체중을 계산하여 산출하였다.

2) 도체 특성

실험 30일차 실험 종료시에 생체중 측정치의 평균에 해당하는 개체를 처리구 별로 8수씩 선발하여 도살한 후 간, 비장, F낭, 복강지방, 다리 및 가슴 근육을 채취하였으며, 채취한 조직들은 생체중 100 g 당 상대적 중량으로 환산 표기하였다.

3) 혈액 성분

실험 30일차 실험 종료시에 각 처리구에서 유사한 체중을 지닌 개체를 각각 8수씩 선발하여 혈액을 채취한 후 원심분리(3000 rpm, 20분)하여 혈청을 분리하였다. 혈중 생화학성분 중 Albumin, total cholesterol, aspartate aminotransferase (AST), globulin 등은 자동혈액생화학분석기(Mindray, BS-120, Mindry Bio Medical Electronics Co., Shnzhen, China)로서 분석하였다.

4) 장내 균총 실험

실험 종료 후 반복구당 임의로 6수씩 선발하여 도살한 후 맹장을 내용물과 함께 적출하여 냉동 보관 시킨 후, 멸균된 생리식염수에 현탁하여 homogenizer로 균질화시킨 후 적당히 희석하여 생균수 측정용 시료로 사용하였다. 페룰산이 함유된 RBEX의 첨가에 의한 맹장 내의 총 세균수, lactic acid bacteria, coliforms sp. 균수를 측정하기 위해 총 세균에는 Total plate agar(Difco)를, 유산균에는 MRS agar를, coliforms sp.에는 MacConkey agar(Difco)를 사용하였고, 37°C에서 38시간 배양 후 균수측정을 하였다.

Table 1. Ingredient and analyzed chemical composition of the basal diet

Ingredients	Days 1 to 21	Days 21 to 30
Yellow corn	51.90	57.96
Soybean meal	34.34	30.71
Canola meal	2.00	1.00
Soy oil	4.42	4.00
Rice bran	3.00	2.25
Limestone	1.40	1.53
Mono-di-calcium phosphate	1.56	1.20
Salt	0.28	0.25
Choline HCl	0.10	0.10
Lysine HCl	0.29	0.30
DL-Methionine	0.36	0.36
Threonine	0.10	0.09
Mineral premix ¹	0.10	0.10
Vitamine premix ²	0.10	0.10
Phytase ³	0.05	0.05
Total	100	100
Chemical analysis (%)		
Dry matter	88.20	87.63
Crude protein	21.00	21.00
Ether extract	7.10	6.70
Crude fiber	3.26	3.03
Ash	6.57	6.03
Ca	0.87	0.85
Available P	0.44	0.40
TME _n (kcal/kg) ⁴	3,000	3,050

¹ Mineral mixture provided following nutrients per kg of diet: Fe, 70 mg; Zn, 60 mg; Mn, 8 mg; Cu, 7.5 mg; I, 1 mg; Se, 0.2 mg; Co, 0.13 mg.

² Vitamin mixture provided following nutrients per kg of diet: vitamin A, 10,000 IU; vitamin D₃, 2,300 IU; vitamin E, 20 IU; vitamin K₃, 2 mg; vitamin B₁, 2 mg; vitamin B₂, 5 mg; vitamin B₆, 3.5 mg; vitamin B₁₂, 0.02 mg; biotin, 0.12 mg; niacin, 30 mg; pantothenic acid, 10 mg; folic acid, 0.7 mg.

³ Phytase: phytase 1000G.

⁴ TME_n: nitrogen-corrected true metabolizable energy.

결과 및 고찰

4. 통계분석

모든 얻어진 결과에 대한 통계 분석은 Statistical Analysis System(SAS, 2002)의 General Linear Model(GLM) procedure를 이용하여 실시하였고, 처리구간의 유의성 검정은 Duncan의 다중검정(Duncan, 1955)을 통해 유의 수준 $P < 0.05$ 에서 검정하였다.

1. 육계 생산성에 미치는 영향

페룰산이 함유된 미강추출물의 첨가 급여가 육계의 증체량, 사료섭취량, 사료요구율에 미치는 영향을 육계 전기(1~21일령), 육계 후기(22~30일령), 전체 사육기간(1~30일령)으로 정리하여 Table 2에 나타내었다. 일당 증체량은 육

Table 2. Effects of dietary supplementation of ferulic acid-based preparation on performance in broiler chicks^{1,2}

Item	CON	RBEX		
		0.1%	0.2%	0.3%
Initial BW	38.4±0.20	38.5±0.02	38.56±0.02	38.62±0.02
Days 1 to 21				
ADG	28.00±1.46 ^b	28.64±0.77 ^{ab}	29.64±0.48 ^{ab}	30.92±0.28 ^a
ADFI	44.99±0.02	44.98±0.02	44.98±0.04	44.96±0.02
FCR	1.62±0.09 ^a	1.57±0.04 ^{ab}	1.52±0.02 ^{ab}	1.45±0.01 ^b
Days 22 to 30				
ADG	117.06±1.99 ^b	124.38±0.61 ^a	123.46±2.00 ^a	124.84±2.33 ^a
ADFI	171.00±2.00	178.02±2.74	174.10±0.98	175.88±2.86
FCR	1.46±0.03	1.43±0.03	1.41±0.02	1.41±0.02
Days 1 to 30				
ADG	52.40±1.04 ^b	54.80±0.48 ^a	55.16±0.46 ^a	56.52±0.72 ^a
ADFI	79.76±0.61	81.88±0.82	80.70±0.30	81.24±0.86
FCR	1.52±0.02 ^a	1.50±0.02 ^{ab}	1.46±0.01 ^{bc}	1.44±0.01 ^c

¹ CON, control; ADG, average daily weight gain; ADFI, average daily feed intake; FCR, feed conversion ratio.

² Values are presented Means ± SE.

^{a-c} Means in a row without a common superscript letter differ ($P<0.05$).

계 전기(1~21일령), 육계 후기(22~30일령), 전체 사육기간(1~30일령) 모든 사육기간에서 페룰산을 첨가한 모든 처리구가 대조구에 비해 유의성 있게 높은 것을 확인할 수 있었다($P<0.05$). 사료섭취량에서는 모든 사육 기간에서 처리구 간 유의차가 없었다. 사료요구율에서도 모든 사육기간에서 페룰산을 첨가한 모든 처리구가 대조구에 비해 유의성 있게 개선되는 것을 확인할 수 있었다($P<0.05$). 이는 Wang et al.(2021)이 오리 사료에 페룰산을 첨가한 연구에서 오리의 생산성이 개선되었다는 결과와 Wang et al.(2020)이 이유 자돈의 사료에 첨가한 실험에서 이유 자돈의 생산성이 개선되었다는 보고와 일치하는 것이다.

본 실험의 결과에서는 육계 사료 내 페룰산이 함유된 미강추출물의 첨가는 육계 생산성에 아주 긍정적인 영향을 미쳤다는 것을 확인할 수 있었다.

2. 도체 특성에 미치는 영향

육계 사료 내 페룰산이 함유된 미강추출물의 첨가 급여가 간, 비장, F낭, 복강지방, 다리 및 가슴 근육의 상대적 중량에 미치는 영향에 대한 결과를 Table 3에 나타내었다. 간, 비장, F낭, 복강지방, 다리 및 가슴 근육의 상대적 중량 모두

처리구간에 유의한 차이는 관찰되지 않았다.

Jamroz et al.(2005)은 육계 사료 내 carvacrol, cinnamaldehyde 그리고 캡사이신 등이 함유된 식물 추출물을 첨가 급여한 실험에서 간, 복강지방 및 가슴 근육의 상대적 중량을 조사해본 결과, 처리구간에 차이가 없었다는 결과를 보고하였으며, Hernandez et al.(2004) 또한 항생제 및 복합 식물추출물을 육계에 급여하여 비교한 실험에서 간, 췌장, 소낭, 근위, 소장 및 대장의 상대적 중량을 조사하여 항생제 및 복합 식물추출물 첨가구 모두 대조구와 차이가 없었다고 보고하였다. 본 실험 또한 이러한 이전의 연구 결과와 일치하는 결과를 나타냈다.

3. 혈중 성분에 미치는 영향

Table 4에 육계 사료 내 페룰산이 함유된 미강추출물의 첨가 급여가 혈중 총 콜레스테롤 및 AST, Globulin, albumin 수치에 미치는 영향에 대한 결과를 나타내었다. 페룰산의 육계 사료 첨가는 AST, albumin 수치에 영향을 미치지 않았지만, 혈중 총 콜레스테롤과 혈중 글로블린 수준에 유의차 있는 영향을 미치는 것으로 나타났다($P<0.05$). 이는 페룰산의 양돈 사료 첨가시 혈행 개선과 면역 기능 개선 효과가

Table 3. Effects of dietary supplementation of ferulic acid-based preparation on carcass characteristics in broiler chicks^{1,2}

Item	CON	RBEX		
		0.1%	0.2%	0.3%
		g/100g BW		
Liver	1.97±0.05	2.06±0.08	2.04±0.08	2.01±0.06
Spleen	0.09±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01	0.08±0.01
Bursa of fabricius	0.21±0.02	0.24±0.04	0.25±0.03	0.22±0.02
Abdominal fat	0.83±0.18	0.78±0.40	0.70±0.06	0.80±0.11
Leg	9.76±0.27	9.77±0.42	9.28±0.25	9.96±0.18
Breast muscle	10.35±0.34	10.14±0.15	10.42±0.24	10.46±0.37

¹ CON, control.² Values are presented Means ± SE.**Table 4.** Effects of dietary supplementation of ferulic acid-based preparation on blood profiles in broiler chicks^{1,2}

Item	CON	RBEX		
		0.1%	0.2%	0.3%
Total-C (mg/100 mL)	131.17±7.74 ^a	105.71±4.00 ^b	111.00±3.28 ^b	104.43±2.14 ^b
AST (U/L)	207.83±3.15	213.86±7.72	198.71±5.59	199.86±6.55
Globulin (mg/100 mL)	1.52±0.09 ^b	1.44±0.08 ^b	1.76±0.72 ^a	1.80±0.09 ^a
Albumin (mg/100 mL)	1.40±0.04	1.36±0.03	1.41±0.01	1.36±0.03

¹ CON, control; TOTAL-C, total cholesterol; AST, aspartate aminotransaminase.² Values are presented Means ± SE.^{a,b} Means in a row without a common superscript letter differ ($P<0.05$).

있었다는 Wang et al.(2020)의 연구 결과와 일치하는 결과이다.

혈액 내 ALT 및 AST 수준은 가끔에 있어서도 간 및 조직의 손상 정도를 나타내는 지표로 이용될 수 있으며 (Kanebo et al. 1997), 사료 내 새로운 대체원료나 기능성 첨가제 도입 시 안전성을 검증하는 지표가 될 수 있다(Diaz, 2003).

본 실험에서 AST 수준에 유의한 차이가 없는 것은 식물 추출물에 의한 간 및 조직의 손상이 없다는 것을 간접적으로 나타내며, 페룰산이 함유된 미강 추출물의 육계 사료 첨가급여가 생리적으로 부정적인 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

4. 장내 균총에 미치는 영향

Table 5에 페룰산이 함유된 미강 추출물의 첨가 급여가 장내 균총에 미치는 영향을 나타내었다. 총균수에서는 처리

구간에 유의한 차이는 없었으나 페룰산을 첨가한 처리구에서 대조구에 비하여 증가하는 경향을 보였고, Lactic acid bacteria는 대조구에 비하여 페룰산을 첨가한 처리구에서 유산 생성균의 균수가 유의하게 증가하는 결과를 나타냈으며 ($P<0.05$), coli forms에서도 대조구에 비해서 페룰산을 첨가한 처리구에서 유의하게 감소하는 결과를 나타냈다($P<0.05$).

이는 Wang et al.(2021)이 오리 사료에 페룰산을 첨가한 결과 오리의 장내균총에 개선되었다는 결과와 일치하는 것이다. 본 실험에서는 페룰산을 첨가한 처리구에서 coli-forms과 lactic acid bacteria에서 대조구에 비하여 유의하게 개선되는 결과를 나타내어 장내 균총이 긍정적인 방향으로 개선되었다는 것을 시사하는 결과라고 판단된다.

적 요

본 연구에서 페룰산이 함유된 미강추출물의 첨가가 육계

Table 5. Effects of dietary supplementation of ferulic acid-based preparation on intestinal microflora in broiler chicks^{1,2}

Item	CON	RBEX		
		0.1%	0.2%	0.3%
		log cfu/g		
Total microbes	7.20±0.03	7.26±0.04	7.22±0.07	7.25±0.05
Lactic acid bacteria	6.86±0.04 ^b	7.00±0.05 ^a	7.03±0.04 ^a	7.07±0.05 ^a
Coliforms sp.	4.40±0.10 ^a	3.97±0.06 ^b	4.04±0.03 ^b	4.07±0.16 ^b

¹ CON, control.² Values are presented Means ± SE.^{a,b} Means in a row without a common superscript letter differ ($P<0.05$).

생산성에 미치는 영향에서 일당 증체량과 사료요구율을 개선시켰다. 일당 증체량은 육계 전기(1~21일령), 육계 후기(22~30일령), 전체 사육기간(1~30일령) 모든 사육기간에서 RBEX을 첨가한 모든 처리구가 대조구에 비해 유의성 있게 높은 것을 확인할 수 있었다($P<0.05$). 사료요구율에서도 모든 사육기간에서 페룰산을 첨가한 모든 처리구가 대조구에 비해 유의성 있게 개선되는 것을 확인할 수 있었고($P<0.05$), 혈중 성분 중 총 콜레스테롤과 혈중 글로블린 수치에 유의차 있는 영향을 미치는 것을 확인하였고($P<0.05$), 장내균총 중 페룰산을 처리한 처리구가 대조구에 비하여 유산생성균의 균수가 유의하게 증가하는 결과를 나타냈으며($P<0.05$), coliforms에서는 대조구에 비해서 페룰산을 첨가한 처리구에서 유의하게 감소하는 결과가 나타났었다($P<0.05$). 이상의 결과로 보아 페룰산이 함유된 미강 추출물의 첨가는 육계의 성장촉진 등 생산성이 개선되는 것으로 나타나 항생제 대체제로의 이용가능성이 시사되었으며, 체내 대사생리 및 근육내 물리적 특성에 부정적인 영향 없이 가식성 근육내 지질 산화를 유의하게 억제하는 결과를 나타내어 보존성을 개선한 기능성 양계산물의 생산에 도움을 줄 것으로 사료된다. (색인어:페룰산, 미강추출물, 식물추출물, 육계 생산성)

사 사

본 연구는 연암대학교 양계 동아리 부원들과 ㈜엠에스생명과학의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

ORCID

Yong-Ran Kim <https://orcid.org/0000-0002-5100-1834>
Sang-Woo Lee <https://orcid.org/0000-0001-6303-2980>

Eun-Jip Kim <https://orcid.org/0000-0002-6243-0407>

REFERENCES

- Aviagen 2018 Ross Broiler Management Handbook. https://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-BroilerHandbook2018-EN.pdf Accessed on December 1 2021.
- Cross DE, Mcdevitt RM, Hillman K, Acamovic T 2007 The effect of herbs and their associated essential oils on performance, dietary digestibility and gut microflora in chickens from 7 to 28 days of age. *Br Poult Sci* 48(4):496-506.
- Diaz GJ, Roldan LP, Cortes A 2003 Intoxication of *Crotalaria pallida* seeds to growing broiler chicks. *Vet Hum Toxicol* 45(4):187-189.
- Duncan DB 1955 Multiple range and multiple F test. *Biometrics* 11(1):1-12.
- Hernández F, Madrid J, García V, Orengo J, Megías MD 2004 Influence of two plant extracts on broilers performance, digestibility, and digestive organ size. *Poult Sci* 83(2):169-174.
- Jamroz D, Wiliczekiewicz A, Wertelecki T, Orda J, Skorupinska J 2005 Use of active substances of plant origin in chicken diets based on maize and locally grown cereals. *Br Poult Sci* 46(4):485-493.
- Knokaert D, Raes K, Wille C, Struijs K, Camp VJ 2012 Metabolism of ferulic acid during growth of *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus collinoides*. *J Sci Food Agric* 92(11):2291-2296.
- Li Y, Liu C, Zhang Y, Mi S, Wang N 2011 Pharmacokinetics of ferulic acid and potential interactions with Honghua and Clopidogrel in rats. *J Ethnopharmacol* 137(1):562-567.

- Kanebo JJ, Harvey JW, Bruss ML 1997 Clinical Biochemistry of Domestic Animals. 5th ed. Pages 857-883 In: Avian Clinical Biochemistry. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Paiva LB, Goldbeck R, Santos WD, Fabio Squina FM 2013 Ferulic acid and derivatives: molecules with potential application in the pharmaceutical field. J Pharm Sci 49(3): 395-411.
- Poquet L, Clifford MN, Williamson G 2008. Transport metabolism of ferulic acid through the colonic epithelium. Drug Metab Dispos 36(1):190-197.
- Saeed M, Alagawany M, Fazlani SA, Kalhoro SA, Naveed M, Ali N, Kifayat-Ullah, Arain MA Chao S 2019 Health promoting and pharmaceutical potential of ferulic acid for the poultry industry. World's Poult Sci J 75(1):83-92.
- SAS 2002 User's guide. Ver. 8. Cary, NC: SAS Institute.
- Soberon MA, Cherney JH, Liu RH, Ross DA, Cherney DJR 2012 Free ferulic acid uptake in lactating cows. J Dairy Sci 95(11):6563-6570.
- Szwajgier D, Jakubczyk A 2011 Production of extracellular ferulic acid esterases by *Lactobacillus* strains using natural and synthetic carbon sources. Acta Sci Pol Technol Aliment 10(3):287-302.
- Torres PE, Rios GH, Lagarda IT, Melendres VM, Ramos PA, Garcia ZL, Saavedra PA, Ramirez DL 2016 Ferulic acid in diets of heifer and its effect on the oxidative stability of meat stored in refrigeration. J Anim Sci 94 Suppl 94(5):431.
- Wang Y, Chen X, Huang Z, Chen D, Yu B, Yu J, Chen H, He J, Luo Y, Zheng P 2020 Dietary ferulic acid supplementation improves antioxidant capacity and lipid metabolism in weaned piglets. Can J Anim Sci 12(12): 3811.
- Yang L, Lin Q, Huang X, Jiang G, Li C, Zhang X, Liu S, He L, Liu Y, Dai Q, Huang X 2021 Effects of dietary ferulic acid on the intestinal microbiota and the associated changes on the growth performance, serum cytokine profile, and intestinal morphology in ducks. Front Microbiol 12(1):1-13.
- Zduńska K, Dana A, Kolodziejczak A, Rotsztejn H 2018 Antioxidant properties of ferulic acid and its possible application. Skin Pharmacol Physiol 31(6):332-336.

Received Dec. 13, 2021, Revised Jan. 27, 2022, Accepted Feb. 3, 2022