

REVIEW

낙농 유래 공액리놀레산(conjugated linoleic acid)의 생리적 기능과 반려동물 영양에서의 적용 가능성

정민정^{1†} · 천정환^{2†} · 서건호¹ · 송광영^{3*}

¹건국대학교 수의과대학 및 원헬스연구소

²강원대학교 식품생명공학과

³대구한의대학교 반려동물보건학과 및 반려동물산업학과

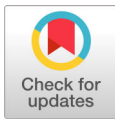
Dairy-Derived Conjugated Linoleic Acid: Biological Functions and Its Potential in Companion Animal Nutrition

Min-Jung Jung^{1†}, Jung-Wan Chon^{2†}, Kun-Ho Seo¹, Kwang-Young Song^{3*}

¹College of Veterinary Medicine and Center for One Health, Konkuk University, Seoul, Korea

²Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

³Department of Companion Animal Health and Department of Pet Industry, Daegu Haany University, Gyeongsan, Korea



Received: January 28, 2026

Revised: April 8, 2026

Accepted: April 27, 2026

[†]These authors contributed equally to this study.

*Corresponding author :
Kwang-Young Song
Department of Companion Animal Health and Department of Pet Industry, Daegu Haany University, Gyeongsan, Korea
Tel : +82-53-819-1605
Fax : +82-53-819-1273
E-mail : drkysong@gmail.com

Copyright © 2026 Korean Society of Dairy Science and Biotechnology. 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.

ORCID

Min-Jung Jung
<https://orcid.org/0009-0005-0334-2529>

Jung-Wan Chon
<https://orcid.org/0000-0003-0758-6115>

Kun-Ho Seo
<https://orcid.org/0000-0001-5720-0538>

Kwang-Young Song
<https://orcid.org/0000-0002-5619-8381>

Abstract

Conjugated linoleic acid (CLA) is a representative functional fatty acid present naturally in milk and dairy products derived from ruminants, and it has been reported to exert various biological effects, such as anti-obesity, anti-inflammatory, immunomodulatory, and metabolic regulatory effects. CLA is a group of positional and geometric isomers of linoleic acid, among which *cis-9, trans-11* CLA and *trans-10, cis-12* CLA are recognized as the major biologically active isomers. In dairy science, extensive research has been focused on the biosynthesis of CLA, strategies to enhance its content in milk and dairy products, and its contribution to the functional quality of dairy foods. With the rapid growth of the companion animal industry, dairy-derived functional components have attracted increasing attention as novel ingredients for companion animal nutrition and functional pet foods. However, most studies on CLA have been conducted in ruminants or humans, and systematic evaluations of its applicability to companion animals from a dairy science perspective remain limited. This review summarizes the chemical characteristics, biosynthesis and enrichment strategies, physiological functions, and safety aspects of CLA on the basis of previous studies in dairy and food science. Furthermore, the potential application of dairy-derived CLA as a functional ingredient in companion animal feed and dairy-based products has been discussed, along with future research directions. This review provides scientific insights into the expanded utilization of functional dairy lipids in companion animal nutrition.

Keywords

conjugated linoleic acid, dairy science, functional lipid, companion animal nutrition, functional pet food

서론

낙농식품은 단백질, 지질, 무기질 및 비타민뿐만 아니라 다양한 생리활성 물질을 함유한 대표적인 기능성 식품군으로, 인류의 주요 영양 공급원으로서 오랜 기간 소비되어 왔다[1]. 최근에는 단순한 영양 공급을 넘어, 만성 질환 예방 및 건강 증진을 목적으로 한 고부가가치 낙농소재 개발에 대한

관심이 전 세계적으로 증가하고 있다[1,2]. 특히 우유 및 유제품에 함유된 기능성 지질 성분은 체내 대사 조절, 면역 기능 개선, 항염증 작용 및 심혈관계 질환 예방과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되면서, 낙농식품 과학 분야의 핵심 연구 주제로 부각되고 있다[3,4].

공액리놀레산(conjugated linoleic acid, CLA)은 리놀레산(linoleic acid)의 위치 및 기하 이성질체들의 총칭으로, 반추동물의 반추위 미생물 대사 과정 및 체내 불포화지방산 전환 과정에서 생성되어 우유 및 유제품에 자연적으로 존재하는 대표적인 기능성 지방산이다[5,6]. 자연계에는 약 20여 종 이상의 CLA 이성머(isomers)가 존재하는 것으로 알려져 있으나, 이 중 루메닉산(rumenic acid; cis-9, trans-11 CLA, c9,t11-CLA)과 t10,c12-CLA(trans-10, cis-12 CLA)가 생리활성이 가장 뚜렷한 주요 이성머로 보고되고 있다[7]. 특히 c9,t11-CLA는 낙농 유래 지방산에서 가장 높은 비율로 존재하며, 비교적 안정적인 생리 반응을 나타내는 이성머로 평가되고 있다.

기존 연구에 따르면 CLA는 체지방 축적 억제 및 에너지 대사 조절, 염증 반응 완화, 면역 기능 조절, 항산화 및 항암 효과 등 다양한 생리활성을 나타내는 것으로 보고되어 왔다[8,9]. 이러한 기능성 특성으로 인해 CLA는 낙농 분야에서 우유 및 유제품의 기능성 품질을 향상시키기 위한 핵심 지질 성분으로 인식되어 왔으며, 사료 조절을 통한 우유 내 CLA 함량 증진, 발효 공정을 이용한 CLA 강화, 그리고 기능성 유제품 개발에 관한 연구가 활발히 수행되어 왔다[10-12].

한편, 최근 반추동물 산업의 급속한 성장과 함께 반추동물의 건강 관리에 대한 사회적 관심이 크게 증가하고 있다. 반려견과 반려묘는 가족 구성원으로 인식되는 경향이 강화되면서, 단순한 생존을 위한 사료 공급을 넘어 건강 유지, 질병 예방, 노화 관리 및 삶의 질 향상을 목표로 한 기능성 사료 및 특수 영양 소재에 대한 수요가 빠르게 확대되고 있다. 특히 반추동물의 수명 연장과 고령화로 인해 비만, 대사성 질환, 관절 질환, 면역 기능 저하 및 만성 염증성 질환과 같은 만성 건강 문제가 주요 영양학적 관리 대상으로 부각되고 있다[3].

비만은 반추동물에서 가장 흔히 보고되는 영양 관련 질환 중 하나로, 관절 부담 증가, 심혈관계 스트레스, 인슐린 저항성 및 염증 반응 악화와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 특히 반려견과 반려묘의 생활 방식 변화와 고열량 사료 섭취 증가는 이러한 문제를 더욱 가속화시키고 있다. 이에 따라 체지방 축적을 조절하고 대사 항상성을 유지할 수 있는 기능성 지질 성분에 대한 관심이 반추동물 영양 분야에서도 점차 증가하고 있다.

이러한 흐름 속에서, 낙농 유래 기능성 성분을 반추동물 영양에 적용하려는 시도가 새로운 연구 및 산업적 관심 분야로 부상하고 있다. 낙농 유래 기능성 지질은 자연적 원료 기반이라는 점에서 소비자 수용성이 높을 뿐만 아니라, 장기 섭취가 전제되는 반추동물 사료에 적용하기에 상대적으로 적합한 특성을 지닐 가능성이 제기되고 있다. CLA는 이러한 낙농 유래 기능성 지질 중에서도 체지방 조절 및 대사 기능과의 연관성이 비교적 명확하게 제시된 성분으로, 반추동물 영양 분야로의 확장 가능성이 논의되고 있다.

그러나 CLA의 기능성과 안전성에 관한 기존 연구는 대부분 반추동물 생산성 향상 또는 인체 영양학적 효과를 중심으로 수행되어 왔으며, 반추동물과 같은 비반추 단위동물을 대상으로 한 적용 가능성을 낙농식품 과학적 관점에서 체계적으로 고찰한 연구는 매우 제한적인 실정이다. 반추동물은 반추동물과는 상이한 소화 생리 및 지질 대사 특성을 가지며, 특히 반려묘의 경우 엄격한 육식성 대사 특성으로 인해 지방산 이용 및 대사 조절 기전에서 뚜렷한 종 특이성을 보인다. 따라서 기존 낙농 및 인체 연구 결과를 반추동물에 단순히 전이하여 해석하는 데에는 명확한 한계가 존재한다[7,13].

이러한 연구 공백은 CLA를 반추동물 영양에 적용하기 위한 과학적 근거가 아직 충분히 확립되지 않았음을 의미하며, 기능성 사료 소재로서의 활용 가능성을 평가하기 위해서는 기존 낙농·식품 분야 연구를 체계적으로 정리하고 고찰할 필요성을 시사한다.

낙농식품 과학 분야에서 CLA와 같은 기능성 지질 성분은 그동안 주로 인체 소비를 목적으로 우유 및 유제품의 영양적 가치와 기능성을 향상시키기 위한 연구 대상으로 다루어져 왔다. 한편 반추동물

사료 역시 낙농식품과 유사하게 장기간에 걸쳐 지속적으로 섭취된다는 점에서, 사용되는 원료의 안전성과 대사적 안정성, 그리고 자연 유래 여부가 중요한 고려 요소로 작용한다. 이러한 점을 고려할 때, cis-9, trans-11 이소머가 우세한 조성을 갖는 낙농 유래 CLA는 합성 CLA 혼합물에 비해 반려동물 영양에 보다 적합한 기능성 지질 소재로 활용될 가능성이 있다. 이러한 관점은 낙농 기반 CLA 연구를 기능성 반려동물 사료 개발로 확장하는 데 있어 합리적인 과학적 근거를 제시한다.

따라서 본 총설에서는 CLA의 일반적 특성과 생리적 기능을 단순히 정리하는 데 그치지 않고, 이러한 기존 낙농 및 식품과학 분야의 연구 결과를 기반으로 반려동물 영양에의 적용 가능성을 비판적으로 평가하는 데 초점을 두고자 한다. 특히 CLA의 이소머 조성, 생리적 기능 및 안전성 특성이 반려동물에서 어떻게 해석될 수 있는지를 중심으로 논의를 전개하고, 기능성 반려동물 사료 소재로서의 활용 가능성과 한계를 함께 제시하고자 한다.

Conjugated linoleic acid(CLA)의 화학적 특성 및 이소머

CLA는 탄소수 18개를 가지는 리놀레산(C18:2)의 위치적·기하학적 이성질체들의 총칭으로, 두 개의 이중결합이 서로 인접한(conjugated) 구조를 갖는 것이 특징이다[8]. 일반적인 리놀레산은 cis-9, cis-12 위치에 이중결합을 가지는 반면, CLA는 이중결합이 6-14번 탄소 사이에서 다양한 조합으로 배열되며, 각각 cis 또는 trans 형태를 취할 수 있다[6].

현재까지 자연계 및 실험 조건에서 약 20-28종 이상의 CLA 이소머가 보고되었으나, 낙농식품 및 생리활성 측면에서 의미 있는 이소머는 제한적이다[5]. 이 중 c9,t11-CLA와 t10,c12-CLA가 전체 CLA의 대부분을 차지하며, 기능성 연구의 핵심 이소머로 인식되고 있다[7].

c9,t11-CLA는 흔히 루메닉산으로 불리며, 반추위 미생물에 의한 불포화지방산 생물수소화 과정의 중간체로 생성되거나, 체내 조직에서 vaccenic acid(C18:1 trans-11)가 Δ9-desaturase (stearoyl-CoA desaturase)에 의해 전환되어 합성된다[5]. 이 이소머는 우유 및 유제품 내 CLA의 약 70%-90%를 차지하는 것으로 보고되었으며, 항염증, 면역조절 및 항산화 효과와의 연관성이 주로 보고되어 왔다[1,9].

반면, t10,c12-CLA는 상대적으로 함량이 낮지만, 지질 대사 조절과 관련된 생리활성이 뚜렷한 이소머로 알려져 있다. 특히 이 이소머는 지방산 합성 경로 억제 및 지방 축적 감소와 밀접한 관련이 있으며, 반추동물에서 과량 생성될 경우 유지함량감소현상(milk fat depression)과 연관되는 것으로 보고되었다[7,13]. 이러한 특성으로 인해 t10,c12-CLA는 기능성 측면에서는 긍정적인 효과와 잠재적 부작용을 동시에 고려해야 하는 이소머로 평가되고 있다[3].

CLA 이소머의 생리활성은 단순히 총 CLA 함량뿐만 아니라, 이소머 조성 비율에 따라 크게 달라지는 것으로 보고되고 있다. 실제로 동일한 총 CLA 함량을 갖는 경우에도 c9,t11-CLA와 t10,c12-CLA의 비율 차이에 따라 체지방 축적, 염증 반응 및 대사 지표에서 상이한 결과가 관찰된 바 있다[8,9]. 이러한 점은 낙농 유래 CLA를 기능성 소재로 활용할 때, 단순한 함량 증가뿐만 아니라 이소머 조성 제어가 중요함을 시사한다.

화학적 관점에서 CLA는 다중 불포화 지방산으로서 산화에 취약한 특성을 가지며, 가공·저장 조건에 따라 구조적 변형이 발생할 수 있다. 특히 고온 처리, 산소 노출 및 광 노출 조건에서 CLA의 산화 안정성이 저하될 수 있으며, 이는 유제품 가공 및 기능성 소재 적용 시 고려해야 할 중요한 요소로 지적되고 있다[12,14].

이러한 화학적 특성과 이소머별 생리활성 차이는, CLA를 낙농식품 및 기능성 사료 소재로 활용할 때 원료 관리, 가공 공정, 그리고 최종 적용 대상(인체 또는 반려동물)에 따라 차별화된 접근이 필요함을 의미한다. 특히 반려동물과 같은 비반추 단위동물에서는 반추동물과 상이한 지방산 대사 특성을 고려하여, CLA 이소머 조성 및 함유 수준에 대한 보다 정밀한 검토가 요구된다[7].

Conjugated linoleic acid(CLA)의 생합성 및 우유·유제품 내 강화 전략

1. 반추위 미생물에 의한 CLA 생합성

우유 및 유제품에 존재하는 CLA는 주로 반추동물의 반추위에서 일어나는 미생물 대사 과정의 산물로 생성된다. 반추동물의 사료로 섭취된 리놀레산과 α -리놀렌산(α -linolenic acid, C18:3)은 반추위 미생물에 의해 단계적인 생물수소화(biohydrogenation) 과정을 거치며 다양한 중간체를 형성한다[6]. 이 과정에서 리놀레산은 우선 c9,t11-CLA로 이성화(isomerization)되며, 이후 vaccenic acid(C18:1 trans-11)를 거쳐 최종적으로 stearic acid(C18:0)로 전환된다[5]. 이러한 반추위 생물수소화 과정에는 *Butyrivibrio fibrisolvens*를 비롯한 다양한 반추위 세균이 관여하는 것으로 알려져 있으며, 미생물 군집 구성, 반추위 pH, 사료 조성 및 지방산 공급 형태에 따라 CLA 생성량과 이소머 조성이 크게 달라질 수 있다[10]. 특히 반추위 내 환경 변화는 c9,t11-CLA와 t10,c12-CLA의 상대적 생성 비율에 영향을 미치는 주요 요인으로 보고되었다[7].

2. 체내 조직에서의 CLA 전환 경로

반추위에서 생성된 CLA 외에도, 우유 내 CLA의 상당 부분은 체내 조직에서의 내인성 전환 과정을 통해 형성된다. 반추위 생물수소화 과정의 중간체인 vaccenic acid는 유선 조직에서 $\Delta 9$ -desaturase의 작용을 받아 c9,t11-CLA로 전환된다[5]. 이 경로는 특히 우유 및 유제품 내 c9,t11-CLA 함량을 결정하는 중요한 기전으로 인식되고 있으며, 일부 연구에서는 우유 내 c9,t11-CLA의 60% 이상이 이러한 내인성 전환을 통해 생성된다고 보고하였다[6]. 이러한 체내 전환 효율은 품종, 유선의 생리적 상태, 그리고 공급되는 지방산의 종류와 양에 따라 영향을 받는다[7]. 따라서 우유 내 CLA 함량 증진 전략을 수립할 때, 반추위 미생물 대사뿐만 아니라 유선 조직에서의 지방산 대사 특성을 함께 고려할 필요가 있다.

3. 사료 조절을 통한 우유 내 CLA 강화 전략

우유 및 유제품 내 CLA 함량을 증가시키기 위한 가장 대표적인 전략은 사료 조절을 통한 접근이다. 특히 리놀레산 및 α -리놀렌산이 풍부한 유지종실(oilseeds) 또는 식물성 오일을 사료에 보충하는 방법이 널리 연구되어 왔다[11]. 아마씨, 해바라기씨, 대두, 유채유 등은 우유 내 CLA 및 vaccenic acid 함량을 유의적으로 증가시키는 것으로 보고되었다[12]. 또한 방목 기반 사양 체계는 농후사료 위주의 사양 방식에 비해 우유 내 c9,t11-CLA 함량을 증가시키는 것으로 알려져 있다. 이는 신선 초지에 함유된 불포화지방산 공급 증가와 더불어 반추위 미생물 대사 환경의 변화에 기인하는 것으로 해석된다[4,5].

4. 가공·발효 공정을 통한 CLA 강화

사료 조절 외에도, 유제품 제조 과정에서의 발효 및 가공 공정을 활용한 CLA 강화 전략이 보고되고 있다. 일부 유산균 및 비피더스균은 리놀레산을 기질로 하여 CLA를 생성할 수 있는 능력을 가지는 것으로 알려져 있으며, 이를 활용한 발효유 및 치즈 제조 연구가 수행되어 왔다[15]. 특히 *Lactiplantibacillus plantarum*과 같은 유산균은 발효 과정 중 CLA 함량을 증가시킬 수 있는 잠재력을 지니는 것으로 보고되었다. 다만, 가공 조건(온도, 산소 노출, 저장 기간)에 따라 CLA의 산화 안정성이 저하될 수 있으므로, 기능성 유제품 개발 시에는 CLA 생성과 안정성을 동시에 고려한 공정 설계가 필요하다[1].

5. 낙농 유래 CLA 강화 전략의 확장 가능성

이와 같이 사료 조절 및 가공·발효 공정을 통해 확보된 CLA 강화 낙농소재는 기존 인체용 기능성 식품을 넘어, 반려동물용 기능성 사료 및 유제품 소재로 확장 적용될 가능성을 지니고 있다. 특히 낙농 유래 CLA는 합성 CLA에 비해 이소머 조성이 자연적이며, 안전성 측면에서도 상대적으로 우수한 특성을 가질 수 있다는 점에서 주목할 필요가 있다[3]. 그러나 반려동물은 반추동물과는 상이한 지방산 대사 특성을 가지므로, 강화된 CLA 낙농소재를 적용하기 위해서는 이소머 조성, 급여 수준 및 장기 섭취에 따른 대사 반응을 면밀히 검토하는 추가 연구가 요구된다.

Conjugated linoleic acid(CLA)의 생리적 기능

CLA는 다양한 이소머로 구성된 기능성 지방산으로, 이소머별로 상이한 생리활성을 나타내는 것이 특징이다. 지금까지의 연구 결과에 따르면 CLA는 체지방 대사 조절, 면역 및 염증 반응 조절, 항산화 및 항암 효과 등 다각적인 생리 기능을 수행하는 것으로 보고되어 왔다[8,9]. 이러한 생리활성은 주로 c9,t11-CLA와 t10,c12-CLA 이소머를 중심으로 규명되어 왔으며, 기능성 효과는 이소머 조성 및 섭취 수준에 따라 크게 달라지는 것으로 알려져 있다[7].

1. 체지방 축적 억제 및 에너지 대사 조절 효과

CLA의 가장 대표적인 생리 기능은 체지방 축적 억제 및 에너지 대사 조절 효과이다. 특히 t10,c12-CLA는 지방세포 분화 억제 및 지방산 합성 감소와 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되어 왔다[8]. 해당 이소머는 ACC(acetyl-CoA carboxylase) 및 FASN(fatty acid synthase)와 같은 지방산 합성 관련 효소의 발현을 억제하고, PPAR(peroxisome proliferator-activated receptor) 및 AMPK(AMP-activated protein kinase) 신호 경로를 조절함으로써 지방 축적을 감소시키는 것으로 제시되고 있다[3,9]. 동물실험 및 일부 인체 연구에서는 CLA 섭취가 체지방 감소와 연관되어 보고되었으나, 이러한 효과는 이소머 조성 및 섭취 기간에 따라 상이한 결과를 보였다. 특히 c9,t11-CLA는 상대적으로 완만한 대사 조절 효과를 나타내는 반면, t10,c12-CLA는 보다 강한 지방 축적 억제 효과를 보이는 것으로 보고되었다[7]. 이러한 차이는 기능성 소재로서 CLA를 활용할 때 이소머 비율 제어의 중요성을 시사한다.

2. 면역 조절 및 항염증 효과

CLA는 면역 반응 조절 및 염증 완화 효과를 나타내는 것으로 다수의 연구에서 보고되어 왔다. 특히 c9,t11-CLA는 항염증성 사이토카인 분비를 증가시키고, 염증성 사이토카인의 발현을 억제하는 경향을 보이는 것으로 보고되었다[9]. 이러한 면역 조절 효과는 NF- κ B(nuclear factor- κ B) 및 MAPK(mitogen-activated protein kinase) 신호 경로 조절과 관련된 것으로 제시되고 있다[3]. 낙농 유래 CLA의 면역 조절 효과는 우유 및 유제품 섭취를 통한 간접적 건강 효과와도 연관되어 해석되고 있으며, 염증성 장 질환, 대사성 염증 및 면역 기능 저하 상태에서의 잠재적 활용 가능성이 논의되고 있다[2]. 이러한 특성은 반려동물에서 빈번히 관찰되는 만성 저등급 염증 상태와도 연관될 수 있어, 기능성 사료 소재로서의 활용 가능성을 시사한다.

3. 항산화 및 항암 효과

CLA의 항산화 및 항암 효과는 주로 세포주 및 동물모델 연구를 통해 보고되어 왔다. c9,t11-CLA는 세포 증식 억제 및 세포자멸사(apoptosis) 유도를 통해 항암 효과를 나타낼 수 있는 것으로 제시되었으며, 산화 스트레스 감소 및 항산화 효소 활성 증가와의 연관성도 보고되었다[3,8]. 낙농식품

과학 분야에서는 이러한 항암 및 항산화 효과를 직접적인 치료 개념보다는, 기능성 식품 섭취를 통한 장기적 건강 유지 측면에서 해석하는 경향이 강하다. 이에 따라 CLA는 만성 질환 예방 및 노화 관련 산화 스트레스 완화에 기여할 수 있는 기능성 지질 성분으로 평가되고 있다[9].

4. 대사 항상성 및 인슐린 감수성 조절

CLA는 포도당 대사 및 인슐린 감수성 조절과도 연관된 생리활성을 나타내는 것으로 보고되었다. 일부 연구에서는 CLA 섭취가 인슐린 민감성을 개선하고, 지방 조직과 간에서의 지질 축적을 감소시키는 효과를 보였다고 보고하였다[4]. 그러나 이러한 효과는 이소머 조성 및 섭취 수준에 따라 상이한 결과를 보였으며, 특히 t10,c12-CLA의 과량 섭취 시에는 인슐린 저항성 증가 및 간 지방 축적과 같은 부정적 효과가 보고되기도 하였다[3]. 이러한 결과는 CLA의 대사 조절 효과가 이소머 의존적이며, 용량 및 적용 대상에 따라 이중적인 특성을 가질 수 있음을 시사한다. 따라서 기능성 소재로서 CLA를 활용할 경우, 생리활성의 긍정적 측면과 잠재적 한계를 동시에 고려한 접근이 필요하다[7].

5. 낙농 유래 CLA의 생리적 기능과 반려동물 적용 가능성

지금까지 보고된 CLA의 생리적 기능은 대부분 반추동물 또는 인체를 대상으로 규명되어 왔으나, 이러한 기능은 반려동물에서도 체지방 조절, 면역 기능 개선 및 대사 항상성 유지 측면에서 잠재적 활용 가능성을 지니고 있다. 특히 반려견과 반려묘에서 비만, 대사성 질환 및 만성 염증은 주요 건강 문제로 지적되고 있어, 낙농 유래 CLA의 기능성 적용 가능성에 대한 관심이 증가하고 있다. 다만 반려동물은 반추동물과 상이한 지방산 대사 경로를 가지므로, 기존 연구 결과를 단순히 전이하기보다는 이소머 조성, 급여 수준, 장기 섭취에 따른 대사 반응을 고려한 체계적인 검증이 요구된다. 이러한 점에서 CLA의 생리적 기능에 대한 종합적 이해는 이후 반려동물 적용 연구의 과학적 기초를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 CLA의 생리적 효과는 연구 간 일관되지 않은 결과를 보이는 경우가 많으며, 이는 사용된 CLA의 이소머 조성, 급여 수준, 실험 기간 및 대상 종(species)의 대사 특성 차이에 기인하는 것으로 해석된다. 특히 동일한 총 CLA 함량에서도 c9,t11-CLA와 t10,c12-CLA의 비율에 따라 상반된 대사 반응이 보고된 바 있어, CLA의 기능성 효과는 단순한 함량이 아닌 이소머 조성에 의해 결정되는 것으로 판단된다. 또한 일부 연구에서는 CLA의 효과가 용량 의존적으로 나타나거나, 일정 수준 이상에서는 오히려 부정적 대사 반응이 관찰되는 등 비선형적 반응 특성이 보고되었다.

Conjugated linoleic acid(CLA)의 안전성 및 이소머 의존적 한계

CLA는 다양한 생리활성이 보고된 기능성 지방산이지만, 그 효과와 안전성은 이소머 조성, 섭취 수준, 적용 대상에 따라 상이하게 나타날 수 있다. 특히 일부 연구에서는 특정 CLA 이소머의 과량 섭취가 대사 이상과 연관될 수 있음이 보고되면서, 기능성 소재로서 CLA를 적용할 때 안전성 평가의 중요성이 강조되고 있다[3,8].

1. 이소머 의존적 생리 반응의 차이

CLA의 생리활성과 안전성은 총 CLA 섭취량보다는 이소머 조성에 의해 크게 좌우되는 것으로 보고되어 왔다. c9,t11-CLA는 자연계, 특히 우유 및 유제품에서 가장 풍부하게 존재하는 이소머로, 상대적으로 안정적인 생리 반응과 항염증 및 면역조절 효과가 보고되어 왔다[1,9]. 반면, t10,c12-CLA는 지방 축적 억제 효과가 뚜렷한 이소머로 알려져 있으나, 일부 연구에서는 이 이소머의 과량 섭취가 간 지방 축적, 인슐린 저항성 증가 및 염증성 반응 유발과 연관될 수 있음이 보고되었

다[3,7]. 특히 반추동물에서는 t10,c12-CLA의 과도한 생성이 유지함량감소현상과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다[13]. 이러한 결과는 CLA의 기능성 효과가 이소머 선택성에 따라 긍정적 또는 부정적으로 작용할 수 있음을 시사하며, 기능성 식품 및 사료 소재로 활용할 경우 이소머 조성 제어가 필수적임을 의미한다.

2. 섭취 수준 및 장기 섭취에 따른 잠재적 위험성

CLA의 안전성은 섭취 수준 및 섭취 기간에 따라 달라질 수 있다. 다수의 인체 및 동물 연구에서는 적정 수준의 CLA 섭취가 비교적 안전한 것으로 보고되었으나, 고용량 또는 장기간 섭취 시에는 대사 이상과 연관된 부작용이 관찰되기도 하였다[8]. 특히 t10,c12-CLA의 경우, 장기 섭취 시 인슐린 신호 전달 경로 교란, 간 내 중성지방 축적 및 산화 스트레스 증가와 같은 부정적 반응이 보고된 바 있다[3,9]. 이러한 결과는 CLA를 기능성 소재로 활용할 때 '고함량' 전략보다는 '적정 수준 유지' 전략이 바람직함을 시사한다. 낙농식품 과학적 관점에서 볼 때, 자연적으로 존재하는 낙농 유래 CLA는 c9,t11-CLA 중심의 자연적 이소머 조성을 가지는 특성이 있으나, 이러한 조성이 합성 CLA 혼합물에 비해 기능성 또는 안전성 측면에서 우수하다고 단정하기에는 현재까지의 비교 연구가 충분하지 않은 실정이다[1]. 따라서 낙농 유래 CLA와 합성 CLA 간의 효과 차이에 대해서는 신중한 해석이 필요하며, 직접 비교 연구를 통한 추가적인 검증이 요구된다.

3. 반추동물·인체 연구 결과의 반려동물 적용 한계

CLA의 안전성에 관한 기존 연구는 대부분 반추동물 또는 인체를 대상으로 수행되어 왔으며, 이러한 결과를 반려동물에 그대로 적용하는 데에는 명확한 한계가 존재한다. 반려동물은 반추동물과 달리 반추위 발효 과정이 없으며, 지방산 흡수 및 대사 경로 또한 상이하다[7]. 특히 반려묘는 엄격한 육식성 대사 특성을 가지며, 지방산 대사 조절 기전이 반려견 및 인간과도 차이를 보이는 것으로 알려져 있다. 따라서 CLA의 이소머별 대사 반응 및 장기 섭취 안전성은 종별로 상이하게 나타날 가능성이 높다[3]. 이러한 점에서 반려동물 영양 분야에서 CLA를 적용하기 위해서는, 기존 낙농 및 인체 연구 결과를 단순히 전이하는 접근보다는 종별 대사 특성을 고려한 단계적 검증이 필요하다.

4. 규제 및 안전성 평가 관점에서의 고려사항

현재 일부 국가에서는 CLA를 기능성 식품 또는 건강기능성 원료로 활용하고 있으나, 적용 범위 및 허용 섭취량은 국가별로 상이하다. 특히 반려동물 사료의 경우, 인체용 기준과는 다른 안전성 평가 체계가 적용되므로, CLA를 기능성 사료 소재로 활용하기 위해서는 별도의 독성 평가 및 장기 급여 시험이 요구될 수 있다. 낙농 유래 CLA를 반려동물 사료 또는 유제품 소재로 활용할 경우, 자연적 이소머 조성 유지, 적정 급여 수준 설정, 그리고 장기 섭취에 따른 대사 영향 평가가 필수적인 검토 항목으로 고려되어야 한다.

5. 안전성 측면에서의 종합적 평가

종합적으로 볼 때, CLA는 다양한 기능성을 지닌 유망한 낙농 유래 지질 성분이지만, 그 적용에는 이소머 의존적 한계와 안전성 문제가 함께 고려되어야 한다. 특히 반려동물과 같은 비반추 단위동물에 적용하기 위해서는, 기능성 효과뿐만 아니라 잠재적 부작용에 대한 과학적 근거를 충분히 확보하는 것이 중요하다. 따라서 향후 연구에서는 이소머 조성별 안전성 평가, 장기 급여 시험, 그리고 종별 대사 반응 비교 연구를 통해 CLA의 안전한 활용 범위를 명확히 규명할 필요가 있다. 이러한 한계는 앞서 언급한 바와 같이 CLA의 반려동물 적용에 있어 중요한 고려 요소로 작용한다.

반려동물 영양에서의 conjugated linoleic acid(CLA) 적용 현황 및 연구 사례

반려동물 영양 분야에서 CLA의 적용 연구는 아직 초기 단계에 있으며, 기존 연구 결과를 해석하는데 있어 신중한 접근이 요구된다. 그러나 최근 반려동물의 고령화와 비만 유병률 증가, 그리고 만성 대사성 질환의 확산과 함께 체지방 조절 및 대사 항상성 유지를 목적으로 한 기능성 영양 전략의 필요성이 지속적으로 제기되고 있다. 특히 반려견과 반려묘에서 비만은 가장 흔한 영양 관련 질환 중 하나로, 관절 질환, 심혈관계 부담, 인슐린 저항성 및 만성 저등급 염증과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되고 있다. 이러한 배경에서 체지방 축적 억제 및 대사 조절 기능이 보고된 CLA는 기능성 지질 소재로서 잠재적 활용 가능성이 논의되어 왔다[3]. 다만 반려동물은 반추동물과 달리 반추위 발효 과정을 거치지 않으며, 지방산 흡수·대사 경로 또한 인간과 완전히 동일하지 않다. 따라서 CLA의 기능성과 안전성을 반려동물 영양 분야에 적용하기 위해서는, 기존 연구 결과를 단순히 전이하기 보다는 종별 대사 특성을 고려한 신중한 해석과 검증이 필요하다.

특히 반려견과 반려묘는 지방산 대사 경로 및 인슐린 신호 조절 기전에서 차이를 보이며, 동일한 CLA 섭취에도 종별로 상이한 대사 반응이 나타날 가능성이 있다. 또한 현재까지 반려동물을 대상으로 한 장기 급여 연구는 매우 제한적이며, 이는 기능성 사료 소재로의 실제 적용을 제한하는 주요 요인으로 작용한다.

1. 반려견(dog)에서의 CLA 적용 연구

반려견을 대상으로 한 기존 연구에서는 CLA 섭취가 체지방 감소 및 체지방량 유지에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음이 보고되어 왔다. 일부 연구에서는 CLA가 지방 조직에서 지방산 합성 관련 효소의 발현을 억제하고, 에너지 소비를 증가시키는 방향으로 작용함으로써 체중 관리에 기여할 수 있음을 제시하였다[8,9]. 이러한 결과는 CLA가 단순한 체중 감소보다는 체성분 조절 측면에서 가능성을 발휘할 가능성을 시사한다. 또한 반려견에서 CLA는 근육량 보존 및 운동 능력 유지와 관련된 효과가 보고된 바 있으며, 이는 특히 노령견이나 비만 반려견에서의 체성분 개선 전략으로서 의미를 가질 수 있다. 근육량 감소는 노령 반려견의 삶의 질 저하와 직결되는 문제이므로, 지방 축적을 억제 하면서 체지방량을 유지할 수 있는 영양 전략은 임상적·영양학적 측면에서 중요한 가치가 있다 (Table 1). 그러나 이러한 효과는 섭취된 CLA의 이소머 조성과 급여 수준에 따라 차이를 보였다. 특히 t10,c12-CLA 비율이 높은 경우에는 지방 축적 억제 효과가 상대적으로 뚜렷하게 나타날 수 있으나, 동시에 에너지 대사 부담이나 인슐린 감수성 변화와 같은 부정적 영향 가능성도 함께 고려되어야 하는 것으로 보고되었다[7]. 이는 반려견에서 CLA 적용 시 이소머 조성 제어와 적정 급여 수준 설정이 중요함을 시사한다.

2. 반려묘(cat)에서의 CLA 적용 연구

반려묘를 대상으로 한 CLA 연구는 반려견에 비해 더욱 제한적이며, 이는 반려묘의 독특한 생리적·대사적 특성과 밀접한 관련이 있다. 반려묘는 엄격한 육식성(obligate carnivore) 동물로서 지방산 및 탄수화물 대사 조절 기전이 인간이나 반려견과 상이하다. 특히 지방산 산화 및 저장 기전, 그리고 인슐린 신호 전달 체계에서 종 특이적 차이를 보이는 것으로 알려져 있다. 일부 연구에서는 반려묘에서 CLA 섭취가 체지방 감소와 연관될 가능성을 시사하였으나, 동시에 고용량 섭취 시 간 지방 축적 및 인슐린 민감성 저하와 같은 대사 이상 가능성이 보고되기도 하였다[3]. 이러한 결과는 반려묘에서 CLA 적용 시 체중 관리 효과만을 강조하기보다는, 간 기능 및 포도당 대사에 미치는 영향을 함께 고려해야 함을 의미한다(Table 1). 따라서 반려묘에서 CLA를 기능성 영양 소재로 활용하기 위해서

Table 1. Summary of studies on the application of conjugated linoleic acid (CLA) in companion animals

Animal	CLA form	Dose	Duration	Main outcomes	Limitations	Reference
Dog	Synthetic CLA mixture (c9,t11 + t10,c12)	~0.5%~1.0% of diet	8-12 weeks	Reduction in body fat mass; maintenance of lean body mass	Effects dependent on isomer composition; limited metabolic biomarkers	[8]
	CLA-supplemented diet	Not clearly standardized (varies by study)	6-12 weeks	Improved body weight management; modulation of energy metabolism	Lack of standardized dose; short-term study design	[9]
	High-CLA supplementation	> 1% of diet	8 weeks	Inhibition of fat accumulation	Potential metabolic burden at high doses; safety not fully evaluated	[7]
Cat	Synthetic CLA mixture	~0.5%~1.0% of diet	8-10 weeks	Potential reduction in body fat mass	Risk of hepatic lipid accumulation; reduced insulin sensitivity	[3]
	Low-level CLA supplementation	< 0.5% of diet	Not well defined	Minor changes in metabolic indicators	Very limited data; species-specific metabolism not fully understood	[9]

는 반려견보다 더욱 보수적인 접근이 요구되며, 이소머 조성, 급여 기간, 그리고 개체의 생리적 상태를 종합적으로 고려한 급여 전략이 필요하다.

3. 반려동물 연구의 공통적 한계

현재까지 보고된 반려동물 대상 CLA 연구는 단기 급여 시험과 제한된 평가 지표에 집중되어 있으며, 장기 급여에 따른 대사 영향에 대한 체계적인 분석은 여전히 부족한 상태이다. 또한 다수의 연구에서 합성 CLA 혼합물을 사용하고 있어, 자연적으로 존재하는 낙농 유래 CLA와의 효과 차이를 직접적으로 비교하기에는 한계가 있다[9]. 더 나아가 기존 연구에서는 체중 변화나 체지방률과 같은 제한적인 지표에 초점을 둔 경우가 많았으며, 혈중 지질 지표, 염증성 사이토카인, 산화 스트레스 지표 및 면역 관련 바이오마커를 포함한 종합적인 평가가 이루어진 사례는 드물다. 이러한 점에서 향후 연구에서는 체성분 변화뿐만 아니라 대사 및 면역 지표를 포함한 다각적인 분석이 요구된다(Table 1).

4. 낙농 유래 CLA의 반려동물 적용 가능성

낙농 유래 CLA는 자연적으로 c9,t11-CLA 비율이 높은 특성을 가지며, 이는 합성 CLA 혼합물에 비해 상대적으로 완만하고 안정적인 생리 반응을 유도할 가능성이 제기되고 있다[1]. 이러한 특성은 장기 섭취가 전제되는 반려동물 사료 및 반려동물용 유제품 소재에 적용할 경우 기능성과 안전성 측면에서 장점으로 작용할 수 있다. 그러나 낙농 유래 CLA를 반려동물 영양에 적용하기 위해서는 원료 간 함량 변동성을 최소화하기 위한 표준화, 정확한 이소머 조성 분석, 그리고 반려견과 반려묘의 종별 대사 반응 평가가 병행되어야 한다. 특히 장기 급여 시험을 통한 안전성 검증은 기능성 사료 소재로서의 실질적 적용을 위해 필수적인 단계로 판단된다. Table 1은 반려동물에서 CLA 적용에 관한 기존 연구들을 정리한 것으로, CLA 형태, 사료 내 첨가 수준, 급여 기간 및 평가된 결과의 차이를 포함하고 있다. 이러한 구조적 비교는 연구 설계의 다양성과 현재 근거의 한계를 보여준다.

기능성 반려동물 사료 개발을 위한 conjugated linoleic acid(CLA) 적용 전략

반려동물 영양 분야에서 CLA를 기능성 사료 소재로 활용하기 위해서는, 단순히 특정 생리적 효과

를 확인하는 수준을 넘어 제형 안정성, 급여 전략, 그리고 산업적 적용 가능성을 종합적으로 고려한 체계적인 접근이 요구된다. 특히 반려동물 사료는 단기간 섭취되는 보조제와 달리, 장기적이고 반복적인 섭취가 전제되는 식이 공급원이라는 점에서 기능성과 안전성의 균형이 무엇보다 중요하다. 이러한 특성은 CLA와 같이 이소머 조성에 따라 생리적 반응이 달라질 수 있는 기능성 지질 성분을 적용할 때 더욱 신중한 전략적 설계를 요구한다[3]. 따라서 CLA 기반 기능성 반려동물 사료 개발은 단일 성분의 기능성 강조보다는, 원료 특성 이해-제형 설계-급여 전략-산업화 및 규제 대응으로 이어지는 전주기적 관점에서 접근할 필요가 있다.

1. 기능성 사료 제형 설계 관점에서의 CLA 적용

CLA는 다중 불포화 지방산으로서 화학적으로 산화에 취약한 특성을 가지므로, 기능성 반려동물 사료 제형 설계 시 산화 안정성 확보는 가장 기본적이면서도 핵심적인 고려 요소로 작용한다[14]. 특히 건식 사료는 고온·고압의 압출 공정을 거치며, 이후 장기간 저장·유통 과정을 거치기 때문에 지방산 산화에 의한 품질 저하 가능성이 상대적으로 높다. 이러한 조건에서는 CLA 구조의 변형, 기능성 저하, 그리고 산화 부산물 생성 가능성까지 함께 고려해야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기술적 접근으로는 미세캡슐화(microencapsulation), 지질-단백 복합체 형성, 또는 항산화제 병용 첨가와 같은 제형 안정화 전략이 제시되고 있다[16]. 미세캡슐화 기술은 CLA를 외부 환경으로부터 물리적으로 보호함으로써 산화 안정성을 향상시킬 뿐만 아니라, 소화관 내에서의 방출 조절을 통해 생체 이용률을 개선할 가능성도 지니고 있다. 특히 낙농 유래 CLA를 활용하는 경우, 자연적으로 c9,t11-CLA 중심의 이소머 조성을 유지할 수 있다는 점에서 제형 설계 측면에서 장점으로 작용할 수 있다. 이러한 이소머 조성은 기능성과 안전성의 균형을 고려한 장기 급여용 기능성 사료 설계에 적합한 특성을 지닌 것으로 평가되고 있다[1].

2. 급여 수준 및 이소머 조성 기반 급여 전략

기능성 반려동물 사료에서 CLA 적용의 핵심은 ‘얼마나 많이 제공할 것인가’보다는 ‘어떤 이소머 조성을, 어느 수준에서, 어떤 목적을 가지고 제공할 것인가’에 있다. 기존 연구 결과에 따르면 CLA의 생리활성과 안전성은 앞서 언급한 바와 같이 이소머 조성에 의해 크게 좌우되는 것으로 보고되어 왔다[7]. 반려동물용 사료에서는 강한 지방 축적 억제 효과를 기대할 수 있는 t10,c12-CLA 중심의 전략보다는, 상대적으로 안정적인 생리 반응과 항염증·대사 조절 효과가 보고된 c9,t11-CLA 중심의 급여 전략이 보다 적합할 가능성이 제기되고 있다[3]. 특히 반려묘의 경우, 지방산 대사 및 인슐린 신호 전달 체계의 특이성을 고려할 때, 급여 수준과 이소머 조성에 대한 보다 보수적인 접근이 요구된다. 또한 기능성 반려동물 사료는 치료 목적보다는 건강 유지 및 질병 예방을 목표로 설계되는 경우가 많으므로, CLA 급여 전략 역시 단기 효과보다는 장기 급여 시 안전성과 지속적인 대사 안정성을 우선적으로 고려해야 한다. 이러한 관점에서 CLA는 ‘고함량 기능성 성분’이 아니라, ‘저·중용량 예방적 기능성 지질’로서의 활용 전략이 바람직한 것으로 판단된다.

3. 기능성 사료 개발에서의 적용 대상 및 차별화 전략

CLA 기반 기능성 반려동물 사료는 적용 대상에 따라 차별화된 설계가 가능하다. 예를 들어 비만 반려동물이나 체중 관리가 필요한 개체를 대상으로 하는 경우에는 체지방 축적 억제 및 에너지 대사 조절 효과를 중심으로 한 제형이 고려될 수 있다. 반면 노령 반려동물의 경우에는 근육량 유지, 염증 완화, 그리고 전반적인 대사 항상성 유지 측면에서의 기능성이 강조될 수 있다. 이러한 대상별 차별화 전략은 단일 기능성 원료인 CLA를 다양한 제품군에 적용할 수 있는 확장성을 제공하며, 반려동물 사료 시장에서 제품 차별화 및 세분화 전략을 가능하게 한다[9]. 특히 최근 반려동물 시장에서 건강

단계별·생애 주기별 맞춤형 사료에 대한 수요가 증가하고 있다는 점에서, CLA 기반 기능성 사료는 이러한 흐름에 부합하는 소재로 활용될 가능성이 있다. 이러한 결과는 CLA가 반려동물에서 체성분 조절 및 대사 기능과 관련된 잠재적 영향을 가질 가능성을 시사하나, 현재까지의 연구는 제한적이며 기능성 소재로의 직접적인 적용을 일반화하기에는 충분한 근거가 확보되지 않은 상태이다. 따라서 CLA의 반려동물 적용은 가능성 제시 수준으로 해석되어야 하며, 실제 기능성 사료 소재로의 활용을 위해서는 종별 대사 특성을 고려한 추가적인 검증 연구가 필수적이다.

4. 산업화 및 상용화 관점에서의 고려사항

산업적 관점에서 CLA를 기능성 반려동물 사료 소재로 활용하기 위해서는 원료의 안정적 공급, 품질 표준화, 그리고 규제 적합성이 중요한 요소로 작용한다. 합성 CLA 혼합물은 일정한 이소머 조성을 유지할 수 있다는 장점이 있으나, 이소머 조성에 따른 안전성 우려 및 소비자 인식 측면에서 한계를 가질 수 있다. 반면 낙농 유래 CLA는 자연적 이소머 조성을 가지며, 기능성 식품 및 사료 원료로서 상대적으로 긍정적인 소비자 인식을 기대할 수 있다. 그러나 낙농 유래 CLA의 경우, 원료 간 함량 변동성 및 제조 공정에 따른 품질 차이를 최소화하기 위한 표준화 전략이 반드시 병행되어야 한다 [12]. 또한 반려동물 사료는 국가별로 상이한 규제 체계를 적용받기 때문에, CLA를 기능성 사료 소재로 활용하기 위해서는 사료 원료 등록 절차, 기능성 표현 가능 범위, 그리고 안전성 자료 확보가 선행되어야 한다. 이는 CLA 기반 기능성 사료의 상용화를 위한 필수적인 전제 조건으로 작용한다.

5. 기능성 반려동물 사료 개발 전략의 종합적 접근

종합적으로 볼 때, CLA를 기반으로 한 기능성 반려동물 사료 개발은 단일 기능성 성분의 적용을 넘어, 제형 안정성 확보-이소머 조성 및 급여 전략 설계-적용 대상 차별화-산업화 및 규제 대응이 유기적으로 결합된 통합적 접근을 필요로 한다(Table 2). 특히 낙농 유래 CLA는 기능성과 안전성의 균형 측면에서 유망한 기능성 지질 소재로 평가될 수 있으나, 반려동물 적용을 위한 과학적 근거 축적과 장기 급여 안전성 검증이 병행되어야 한다. 이러한 접근은 CLA를 단기적인 기능성 성분이 아닌, 반려동물 영양 분야에서 지속적으로 활용 가능한 낙농 유래 기능성 지질로 정립하는 데 중요한 기반을 제공할 것으로 판단된다.

Table 2는 기존 연구에서 도출된 근거 기반 고려사항과 기능성 반려동물 사료에서 CLA 적용을 위한 제안적 전략을 함께 정리한 것이다. 이러한 구분은 현재의 과학적 근거 수준을 반영하며, 추가적인 검증이 필요한 영역을 보여준다.

Table 2. Summary of evidence-based considerations and proposed application strategies of conjugated linoleic acid (CLA) for functional companion animal feed

Category	Evidence level	Key considerations	Strategic approach
Formulation design	Established	Oxidative instability of CLA; processing loss during extrusion	Use of microencapsulation and co-application of antioxidants to improve stability
Isomer composition	Established	Biological effects depend on isomer ratio (c9,t11 vs t10,c12)	Preferential use of c9,t11-CLA-dominant formulations for balanced functionality and safety
Feeding level	Limited evidence	Dose-dependent and potentially non-linear metabolic responses	Consider low to moderate inclusion levels for long-term feeding
Target population	Limited evidence	Obesity, aging, and metabolic health as potential targets	Development of target-specific formulations depending on physiological condition
Raw material selection	Limited evidence	Variability in CLA content and consumer perception	Potential use of dairy-derived CLA with standardized composition
Industrialization	Proposed	Requirement for standardization and regulatory compliance	Establish raw material specifications and generate safety data

전반적으로 제형 설계 및 이소머 구성과 같은 일부 요소는 기존 연구에 의해 뒷받침되고 있으나, 대부분의 적용 전략은 장기 급여 연구와 종 특이적 연구를 통해 추가적인 검증이 필요한 상태이다.

결론 및 향후 연구 방향

CLA는 반추동물 유래 우유 및 유제품에 자연적으로 존재하는 대표적인 기능성 지방산으로, 그동안 낙농식품 과학 분야에서는 주로 인체 영양 및 반추동물 생산성 향상을 중심으로 연구되어 왔다. 그러나 본 총설에서 고찰한 바와 같이, CLA는 다양한 생리적 기능이 보고된 기능성 지방산이지만, 반추동물 영양에의 적용에 대해서는 아직 제한적인 연구 결과만이 존재한다. 따라서 현재까지의 근거는 CLA의 직접적인 기능성 사료 소재로서의 활용을 확정적으로 제시하기보다는, 향후 연구 필요성을 뒷받침하는 수준으로 해석하는 것이 타당하다. 특히 낙농 유래 CLA는 c9,t11-CLA 이소머가 우세한 자연적 구성을 가지며, 이는 체지방 대사 조절, 면역 및 염증 반응 완화, 그리고 대사 항상성 유지 측면에서 비교적 안정적인 생리 반응을 유도할 가능성이 제기되고 있다. 이러한 특성은 강한 체중 감량 효과를 목표로 한 합성 CLA 혼합물과는 차별화되는 지점으로, 치료 목적보다는 건강 유지 및 예방적 영양 관리가 핵심인 반추동물 사료 환경에 보다 적합한 접근으로 평가될 수 있다. 그럼에도 불구하고, 반추동물은 반추동물이나 인간과 상이한 지방산 흡수 및 대사 경로를 가지며, 특히 반려묘의 경우 엄격한 육식성 대사 특성으로 인해 CLA 이소머별 반응이 다르게 나타날 가능성이 높다. 따라서 기존 낙농 및 인체 중심 연구 결과를 단순히 전이하기보다는, 반려견과 반려묘의 종 특이적 대사 특성을 고려한 과학적 검증이 필수적이다.

향후 연구에서는 기능성 효과뿐만 아니라 장기 급여에 따른 안전성 및 종 특이적 대사 반응을 포함한 체계적인 검증이 필요하며, 이를 통해 CLA의 반추동물 영양 적용 가능성이 보다 명확히 규명될 수 있을 것이다. 또한 낙농 유래 CLA와 합성 CLA 간의 효과 및 안전성 차이를 직접적으로 비교하는 연구는, 기능성 반추동물 사료 소재로서의 CLA 활용 방향을 설정하는 데 중요한 과학적 근거를 제공할 수 있을 것이다. 산업적 관점에서는 낙농 유래 CLA의 표준화, 제형 안정성 확보, 그리고 반추동물 사료 규제 체계에 부합하는 안전성 자료 축적이 병행되어야 한다. 이러한 연구 및 기술적 진전은 CLA를 기반으로 한 기능성 낙농소재 및 반추동물 사료 개발의 실질적 적용 가능성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다. 종합적으로 볼 때, CLA는 낙농식품 과학적 관점에서 기능성과 안전성을 동시에 고려할 수 있는 유망한 기능성 지질 성분으로 제시되고 있으나, 반추동물 영양에의 실제 적용을 위해서는 추가적인 과학적 검증이 필수적이다.

Conflict of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

감사의 글

이 논문은 2026년도 교육부의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(RS-2026-25493892).

또한 이 연구는 2025년도 교육부 및 강원특별자치도의 재원으로 강원 RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다(2025-RISE-10-002).

References

1. Govari M, Varelz P. Conjugated linoleic acid in cheese: a review of the factors affecting its presence. *J Food Sci.* 2025;90:e70021.
2. Pan J, Chen M, Li N, Han R, Yang Y, Zheng N, et al. Bioactive functions of lipids in the milk fat globule membrane: a comprehensive review. *Foods.* 2023;12:3755.
3. Badawy S, Liu Y, Guo M, Liu Z, Xie C, Marawan MA, et al. Conjugated linoleic acid (CLA) as a functional food: is it beneficial or not? *Food Res Int.* 2023;172:113158.
4. Moallem U. Invited review: roles of dietary n-3 fatty acids in performance, milk fat composition, and reproductive and immune systems in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2018;101:8641-8661.
5. Ferlay A, Bernard L, Meynadier A, Malpuech-Brugère C. Production of trans and conjugated fatty acids in dairy ruminants and their putative effects on human health: a review. *Biochimie.* 2017;141:107-120.
6. Shingfield KJ, Wallace RJ. Synthesis of conjugated linoleic acid in ruminants and humans. In: Sels B, Philippaerts A, editors. *Conjugated linoleic acids and conjugated vegetable oils.* 1st ed. Philadelphia, PA: Royal Society of Chemistry; 2014, p. 1-65.
7. Wang K, Xin Z, Chen Z, Li H, Wang D, Yuan Y. Progress of conjugated linoleic acid on milk fat metabolism in ruminants and humans. *Animals (Basel).* 2023;13:3429.
8. Benjamin S, Spener F. Conjugated linoleic acids as functional food: an insight into their health benefits. *Nutr Metab (Lond).* 2009;6:36.
9. Yang B, Chen H, Stanton C, Ross RP, Zhang H, Chen YQ, et al. Review of the roles of conjugated linoleic acid in health and disease. *J Funct Foods.* 2015;15:314-325.
10. Sun X, Wang Y, Ma X, Li S, Wang W. Producing natural functional and low-carbon milk by regulating the diet of the cattle: the fatty acid associated rumen fermentation, biohydrogenation, and microorganism response. *Front Nutr.* 2022;9:955846.
11. Plata-Pérez G, Angeles-Hernandez JC, Morales-Almaráz E, Del Razo-Rodríguez OE, López-González F, Peláez-Acero A, et al. Oilseed supplementation improves milk composition and fatty acid profile of cow milk: a meta-analysis and meta-regression. *Animals (Basel).* 2022;12:1642.
12. Gebereyowhans S. Potential strategies to enhance conjugated linoleic acid content of milk and dairy products: a review. *Heliyon.* 2024;10:e38844.
13. Guo Y, Wei Z, Zhang Y, Cao J. Research progress on the mechanism of milk fat synthesis in cows and the effect of conjugated linoleic acid on milk fat metabolism and its underlying mechanism: a review. *Animals (Basel).* 2024;14:204.
14. Li A, Han X, Liu L, Zhang G, Du P, Zhang C, et al. Dairy products and constituents: a review of their effects on obesity and related metabolic diseases. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2024;64:12820-12840.
15. Iorizzo M, Di Martino C, Letizia F, Crawford Jr. TW, Paventi G. Production of conjugated linoleic acid (CLA) by *Lactiplantibacillus plantarum*: a review with emphasis on fermented foods. *Foods.* 2024;13:975.



16. Cai Y, Zhang Y, Qu Q, Xiong R, Tang H, Huang C. Encapsulated microstructures of beneficial functional lipids and their applications in foods and biomedicines. *J Agric Food Chem.* 2022;70:8165-8187.