

에너지절약기능성 중쇄지방산들(MCFAs)로 유전적 잠재능력 달성



편역
고태송
건국대학교 명예교수
tskoh@konkuk.ac.kr

전 세계적 항미생물성장촉진제들(AGP) 사용감소와 유럽연합의 AGP사용금지로 가금의 장건강(腸健康:gut health) 개선제 개발은 중요과제가 되고 있다. 브로일러는 계속적 성장률과 사료요구율 중점 육종(育種:breeding) 선발로 인하여 생산성 증가 만큼의 사료섭취량 증가로 장건강에 미치는 압력은 엄청나다.

비-항생물질로서 식물유래 항미생물 물질들 여러개는 이러한 AGP사용에 대한 유망한 대체(代替) 물질로 제안되어 왔다. 대부분 과학적 증거가 빈약하거나 결여된 식물성 제제들이 시판되고 있다.

가금의 기능성(機能性) 사료원료(functional feed ingredient :FFI)로서 유리(遊離)중쇄지방산들(free medium-chain fatty acids:MCFA) 사용은 최근의 가금산업이 당면한 스트레스원들을 이겨내는 효과적인 방법이다. 중쇄지방산들은 가금과 동물들의 위장관에 서식하는 병원균 수준들뿐만 아니라 숙주수준에서 수많은 유익작용을 하기 때문이다. 유리중쇄지방산들은 코팅되지 않고, 미세캡슐화되지 않고 그리고 모노(mono), 디(di), 또는 트리글리세리드(triglycerides)로 에스테르 결합되지 않은 중쇄지방산을 말한다. 중쇄지방산은 6~12개의 탄소원소를 가진 지방(脂肪)족 꼬리와 극성(極性) 머리로 구성된 포화 지방산들(표 1)이다.

〈표 1〉 탄소원소 6~12개의 중쇄지방산(위키백과)

한글명	영문명	계통명	화합식	pKa
카프로산	Caproic acid	Hexanoic acid	C ₅ H ₁₁ COOH	4.88
카프릴산	Caprylic acid	Octanoic acid	C ₇ H ₁₃ COOH	4.89
카프르산	Capric acid	Decanoic acid	C ₉ H ₁₇ COOH	4.9
라우르산	Lauric acid	Dodecanoic acid	C ₁₁ H ₂₃ COOH	5.3

1. 장 미생물상(相) 균형유지

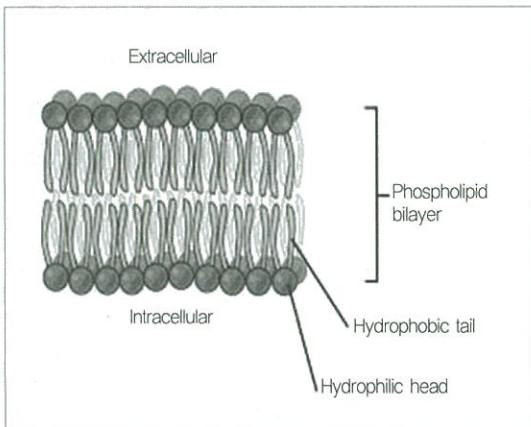
중쇄지방산(MCFA)의 친수성(親水性)-친유성(親油性)균형(hydrophilic-lipophilic balance:HLB)은 병원성 세균들 세포막의 친수성-친유성균형과 매우 유사하다. 그러므로 위(胃:stomach)의 낮은 pH환경에서 병원균과 중쇄지방산이 가까이 접촉해 있으면, 해리(解離)되지 않은 중쇄지방산 분자들은 병원균의 인지질 이중층(磷脂質 二重層:phospholipid bilayer)(그림 1)을 침투할 수 있고 따라서 세포막들이 탈안정화(脫安定化:Destabilisation)한다. 탈안정화는 공극(孔隙: 틈새:pores)들이 형성되어 발생하고, 형성된 공극을 통하여 세포내용물들이 누출되고 다른 한편으로는 중쇄지방산의 세포내 진입을 가져오는 일이 벌어진다.

세균 세포내에서 중쇄지방산은 거의 중성 환경을 만난다. 중성환경에서 중쇄지방산은 해리하므로 세균원형질액내에 해리 중쇄지방

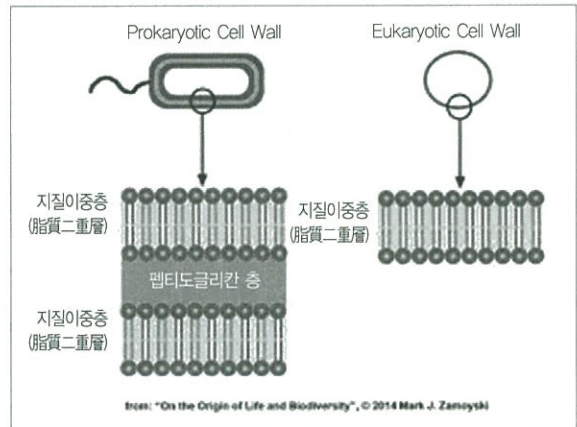
산($C_6H_{11}COO^-$)과 양자들(수소이온: H^+)의 축적을 초래한다. 세포내 산성화(수소이온증가)는 결국 세균사멸을 유발하고, 해리된 중쇄지방산들은 박테리아 DNA 사이에 끼워들어가고, 이렇게 하여 DNA복제를 방해하고 그리고 박테리아 성장을 억제한다.

그러므로 유리(free)중쇄지방산들은 중쇄지방산에스테르들(esters)에 비하여 동물 위(胃)에서 이미 최초 병원균침입시부터 방어막을 만들어준다. 중쇄지방산 에스테르들은 장내 지방분해효소들에 의하여 유리중쇄지방산 분자들로 분해 방출된 뒤에라야 장관 내에서 활성을 갖게 된다.

박테리아 세포들에 비하여 진핵(眞核)생물 세포들(eukaryotic cells) 세포막(그림 2)의 구조적 차이들, 여러 세포내 pH조절 체계 그리고 핵(核:nucleus)의 존재로 인하여 핵은 DNA를 보호하므로 진핵세포들은 중쇄지방산의 메커니즘들에 반응성이 없다. 따라서 가공 사료에 기능성사료원료(機能性材料:FFT)로 중



〈그림 1〉 인지질 이중층(磷脂質 二重層:phospholipid bilayer)(위키 백과)



〈그림 2〉 Prokaryotic cell wall(원핵세포(原核細布)벽)과 Eukaryotic cell wall(진핵세포(眞核細布)벽)의 인지질 이중층 (위키백과)

쇄지방산 사용은 안전하다고 여겨진다.

친수성-친유성 균형은 박테리아세포막에 비하여 SCFA는 높고 LCFA는 낮다.

중쇄지방산에 비하여 단쇄(SCFA:short chain fatty acids)와 장쇄(LCFA:long chain fatty acids) 지방산들은 박테리아 세포막의 친수성-친유성 균형보다 각각 높거나 낮은 친수성-친유성 균형을 가진다. 그러므로 단쇄 및 장쇄 지방산은 박테리아 세포막의 인지질 이중층에 대한 친화성이 낮다. SCFA와 LCFA 친화성이 낮은 것은 여러가지 독립적인 인비트(in vitro) 실험들에 의하여 확인되었다. 이 실험들에서 중쇄지방산은 살모넬라를 포함한 수많은 박테리아에 대하여서 단쇄지방산에 비하여 유의하게 낮은 최소억제농도들을 가지고 있는 것을 보였다.

중쇄 지방산은 비-살균 농도들(non-bactericidal concentrations)에서도 가금의 병원균 저항성에 극적인 효과를 가질 수 있다. 중쇄지방산은 조직적인 병원균 박테리아의 장내 군집화를 억제시키고 또한 박테리아 병원균들의 병원성을 저하시킴으로써 질병발생을 억제한다.

이들 항미생물 활동들의 조합은 결과적으로

위(胃)내에서 박테리아 병원균들의 성장 억제와 사멸시키고, 장(腸)내 생존 병원균들의 발병력을 저하시킨다. 그리고 유익 미생물 생태계는 중쇄지방산의 영향을 받지 않는다. 예를 들면 산-내성 유산균속(lactobacilli)은 대체로 영향을 받지 않는다.

2. 면역반응 개선과 에너지 손실저하

중쇄지방산(MCFA)은 체세포들에 장쇄지방산(LCFA)보다 더 효율적으로 신속히 공급되는 에너지 급원이다. 장에서 이 에너지는 선와(旋渦:crypts)에 의하여 새로운 장상피세포(IEC:intestinal epithelial cells)들을 증식하기 위하여 사용되며, 새로운 장상피세포들(IEC)은 용모(villus) 정산(頂上)으로 이동하고 결과적으로 용모높이를 높인다.

중쇄지방산은 활동하는 장상피세포들 수를 직접 증가시키고 이어서 간접적으로 병원균-유발 장상피 세포사(細布死)를 감소시켜서 장내장의 감염압력을 저하시킨다.

위장관에서 항미생물 효과는 에너지가 요구되는 상승류이므로 상피세포들의 재생산 감소가 필요하며 장상피세포 재생산 감소는 동물

〈표 2〉 42일령 브로일러 닭들의 장내 용모 형태에 미치는 중쇄지방산의 영향

		대조	중쇄지방산
십이지장	용모(Villi) μm	1,855	1,926
	선와(Crypts) μm	480 ^a	304 ^c
	용모/선와	4.04 ^a	6.53 ^c
회장	용모(Villi) μm	644	752
	선와(Crypts) μm	228 ^a	197 ^{ab}
	용모/선와	2.94 ^a	3.91 ^b

*abc : 다른 어깨글자들을 가진 숫자는 줄내에서 유의하게 다름(p<0.05)

성장 에너지 절약을 의미한다.

병원균 감염압력의 저하는 한편 낮아진 선와깊이의 결과로서 이것은 용모높이의 증가와 함께 장세포의 이동감소와 손실저하를 가져오고 결국은 더 완속한 장세포들 증가를 가져온다. 그러므로 중쇄지방산에 의하여 커진 용모 높이/선와깊이 비는 소장내 영양소 흡수, 칼슘 세포내 진입 그리고 위장관효소들의 작용과 같은 소장의 소화와 흡수 능력들을 향상시킨다. 소장상피들에 의한 흡수 능력 향상과 더불어 중쇄지방산은 염증세포들에 축적된다. 염증세포내 중쇄지방산 축적은 에너지가 요구되는 과정인 염증저하를 초래한다. 그러므로 중쇄지방산은 면역반응을 개선하여 에너지 손실저하를 유발한다.

중쇄지방산의 숙주 장 형태와 면역반응에 미치는 유익한 작용들 조합(組合)은 결국은 사료섭취량 증가, 사료요구율 향상과 같은 가금생산기술 지표들의 개선을 유발한다.

3. 가능성을 가진 사료원료(FFI)

중쇄지방산들의 포화성과 항세균 성질로 인

하여 사료내에서 화학적으로 그리고 미생물학적 양쪽에서 안정하다. 내열성 화합물인 점 이외에도 이화합물은 사료 저장중 저장성을 보장한다. 이러한 저장성은 장기간 수송과 더운 계절의 저장환경들에서 가장 중요하다.

네 가지 중쇄지방산의 조심스러운 균형혼합물 사용은 고도의 상승작용과 광-범위 기능성 작용양식을 가져오고, 모든 가금과 동물들에서 면역반응개선 에너지손실억제 가능성을 가진 사료원료로서 효과적 광범위사용을 보장한다.

4. 브로일러 병아리들과 칠면조 새끼들의 생산성 평가값들

중쇄지방산은 기회감염성 병원균들의 수를 감소시킨다. 결과로서 건강상태 개선, 폐사율 감소 및 깔짚 품질 개선을 가져온다. 이러한 기능은 결과적으로 성장률, 사료요구율 및 가슴육수율을 반드시 향상시킨다(표 3).

유리중쇄지방산사용은 공장(空腸)과 회장(回腸) 서식 클로스트리듐 퍼프리젠스(Clostridium perfringens) 숫자의 감소를 가

〈표 3〉 축산기술 생산성 평가값들과 도체 성적들에 미치는 중쇄지방산의 영향

일령	생산성 평가지표	대조	중쇄지방산
39일령	체중 (g/수)	2,481±31	2,561±61
	사료섭취량 (g/일)	98.4±1.0	100.6±2.5
	일당 평균증체량(g/일/수)	62.6±0.8	64.6±1.6
	사료요구율(FCR)	1.57±0.01	1.56±0.03
	체중보정 사료요구율(2,500g)	1.58±0.02	1.56±0.03
	폐사율과 도태(%)	3.8	3.3
42일령	도체 수율 (%)	68.8±1.5	69.4±1.5
	흉육 수율 (%)	22.6±1.3	23.1±1.1

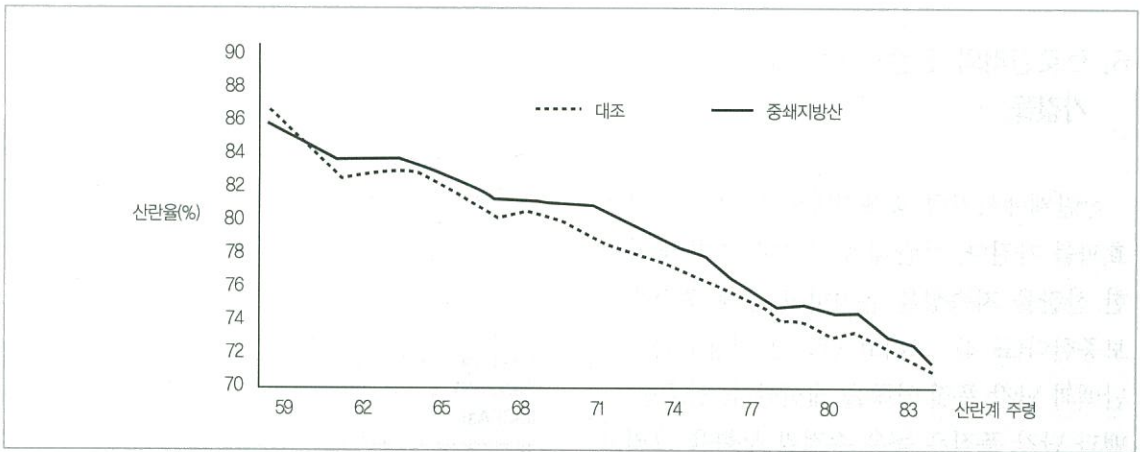
져오고, 이렇게 하여 폐사율과 소장점막의 과사 손상정도의 감소를 가져온다. 다음으로 유익한 점은 장내 미생물군집과 장건강에 영향을 미치고 빠른 회복을 유발하여 상피세포들에 직접에너지 급원을 공급한다.

5. 산란계들 생산성 평가값들

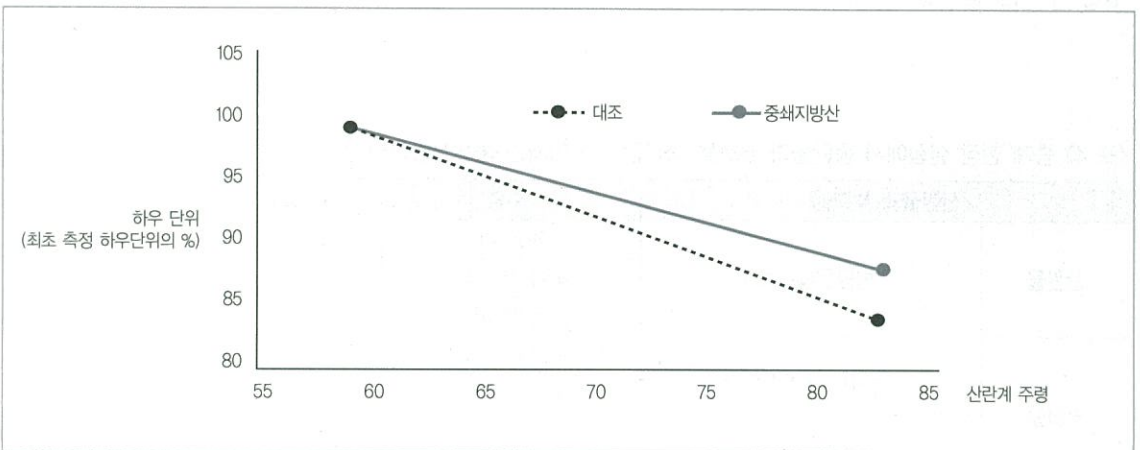
중쇄지방산은 살모넬라에 대하여 고도 항-

미생물제로서 세균의 병독성을 저하시킨다. 중쇄지방산은 세균의 침입확산가능성을 거의 완전히 억제하기 때문이다. 세균의 침입확산능력은 충분하고 지속적 세균 이식(移植) 군집화에 필수이다. 중쇄지방산 첨가는 항세균에 이어서 흡수능력을 증가시키는 결과를 가져온다. 그러므로 중쇄지방산은 계란과 난각 생산을 위한 영양소들의 이용성 증가를 유발한다.

장건강과 산란에 미치는 중쇄지방산의 이러



(그림 3) 산란계들의 산란율에 미치는 중쇄지방산의 영향



(그림 4) 난백 품질의 발전에 미치는 중쇄지방산의 영향

한 유리한 작용들은 젖산의 분명한 작용에 의하여 더 강화된다. 젖산은 중쇄지방산 작용의 강화제로서 활동한다. 이렇게 하여 동물의 장 미생물군집의 유익세균/병원성세균 비율을 더욱 개선한다.

산란계는 주령이 경과하면서 이러한 작용은 산란지속성을 더 향상하고(그림 3), 난백품질을 더 좋게 하며(그림 4) 그리고 파란수를 감소시키는 결과를 가져온다. 그 위에 산란계의 사료요구율은 유의하게 개선된다.


6. 브로일러와 산란계 종계들의 생산성 평가

산란계에서처럼 중쇄지방산은 장기적 작용 효과를 가진다. 산란계 주령 경과에 따라 양호한 산란을 지속성을 유지하고 대형 종란수를 보증한다(표 4). 그리고 단기간 작용효과로서 난백과 난각 품질 양쪽을 개선한다. 양호한 난백과 난각 품질은 높은 수정란 부화율 그리고 부화율, 1일령 병아리체중, 증체 및 생존율을 상승시키는 결과를 가져온다.

브로일러와 산란계에서처럼 중쇄지방산은 한편 종계의 사료요구율과 1일령 병아리 체중을 개선한다.

7. 에너지손실 억제로 유전적 잠재력극대화

유전선발에 관한 이해정도 증가로 오늘날의 동물들은 표준영양대책으로서는 유지될 수 없는 거대한 유전적 잠재력을 가진다. 이러한 유전적 잠재력 극대화가 요구되는 상황은 실제 가금산업에 가능성을 가진 사료원료들의 사용을 불가피하게 한다.

중쇄지방산은 병원균과 숙주 양쪽수준에서 모든 가금과 동물들이 유전적 잠재력의 충분한 발휘를 조력하는 광범위 유익작용을 한다는 것이 증명되어 왔다. 

※자료

David Hermans and Manu De Laet, NuScience, Belgium.
Reaching genetic potential with medium chain fatty acids (MCFAs)
International poultry production—Volume 22 Number 5, 2014

〈표 4〉 종계 현장 실험에서 종란율과 부화율 평가값들에 미치는 중쇄지방산의 영향

산란율과 부화율		주령	대조	중쇄지방산
산란율	평균헨데이(%)	46주령	72.97	72.09
		46주령 이후	61.46	62.19
		62주령 이후	43.52	46.85
부화율	수정란 부화율(%)	46주령 이전	90.29	90.42
		46주령 이후	85.30	85.76
	부화율(%)	46주령 이전	83.64	83.56
		46주령 이전	68.46	69.05