146. / 651–659.

MAGYAR ÁLLATORVOSOK LAPJA | 2024. NOVEMBER

https://doi.org/10.56385/magyallorv.2024.11.651-659

Physiological effects of medium-chain fatty acids and triglycerides as well as their potential application in poultry and swine nutrition

Literature review

N. Hetényi*
A. Bersényi
I. Hullár

Állatorvostudományi Egyetem, Állattenyésztési, Takarmányozástani és Laborállat-tudományi Intézet, Takarmányozástani és Klinikai Dietetikai Tanszék, H-1078 Budapest, István u. 2.

**e-mail: hetenyi.nikoletta@univet.hu*

TAKARMÁNYOZÁSTAN

A közepes szénláncú zsírsavak és trigliceridek élettani hatásai, valamint lehetséges felhasználásuk a baromfi- és sertéstakarmányozásban Irodalmi összefoglaló

Hetényi Nikoletta*, Bersényi András, Hullár István

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők célja a közepes szénláncú (C6–12, kaprolsav, kaprinsav, kaprilsav és laurinsav) zsírsavak (MCFA: Medium-chain fatty acid) és trigliceridek (MCT: Medium-chain triglycerides) élettani hatásainak áttekintése és gyakorlati alkalmazási lehetőségeinek bemutatása a sertés- és baromfitakarmányozásban. Az MCFA-k hatékonyak lehetnek baktériumok (pl. *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., *E. coli*, *Salmonella* spp.), vírusok (pl. sertések járványos hasmenésének vírusa, afrikai sertéspestis), gombák (pl. *Candida albicans*) és paraziták (pl. *Cryptosporidium parvum*) ellen is. Hatással vannak a zsír- és szénhidrát-anyagcserére, valamint a bélmikrobiótára és -morfológiára.

SUMMARY

The medium-chain fatty acids (MCFA), having 6-12 carbon atoms (caproic acid, caprylic acid, capric acid, and lauric acid) are esterified to a glycerol backbone forming the medium-chain-triglycerides (MCT). Coconut oil, palm/palm kernel oil, and fat of the black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) are rich in these fatty acids. MCFAs/MCTs display antibacterial activity against e.g. *Staphylococcus aureus*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhimurium, *Clostridium perfringens*, *Pseudomonas aeruginosa*, however, the *in vivo* results are contradictory. Accordingly, MCFAs have an impact on the gut microbiota. The antiviral effects are less investigated, but *in vitro* MCFAs showed antiviral activity against Porcine Epidemic Diarrhoea Virus, African Swine Fever and Vesicular Stomatitis Virus. MCFAs are not effective against non-enveloped viruses. They also have antifungal activity against *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, and *Fusarium* spp. MCFAs have shorter chain lengths, bile is not needed for their hydrolysis, thus they are directly transported via the hepatic portal vein to the liver. MCFAs can enter the mitochondria without L-carnitine, accordingly, they are quickly metabolized in the body serving as an immediate energy source. MCFAs are anti-inflammatory and can improve gut morphology (e.g.: the number of goblet cells and the intestinal villi height increases) and the gut barrier. MCFAs improve insulin sensitivity and can improve cognitive function and have anti-convulsant effects in epileptic patients. Studies on poultries and pigs showed that MCT supplementation (0.25–15% in the diet) might improve weight gain, feed conversion ratio, gut microbiota, and gut morphology. However, the results of *in vivo* experiments are contradictory; no adverse effects were shown. A higher (>8%) inclusion level of MCFAs decreases the palatability of the feed and, accordingly, leads to lower feed intake. Further animal studies are needed to determine the optimal inclusion rate of MCFA/MCT.

A különböző szénlánchosszúságú zsírsavak baktériumok, vírusok, gombák és parazták elleni hatása régóta ismert, de ennek hatásmechanizmusa még nem teljesen tisztázott. A növények és algák többek között a patogén baktériumok elleni védelemre termelik a zsírsavakat, beleértve a multirezisztens baktériumokat is. Az utóbbi miatt a jövőben fontos szerepet játszhatnak a bakteriális fertőzések megelőzésében és kezelésében [1–8]. Ezen kívül gyulladáscsökkentő és a sebgyógyulást elősegítő tulajdonságaik is vannak, fokozzák a bélrendszerben a vérérképződést és kedvezően befolyásolják a vékonybél morfológiáját, valamint a bélhámsejtek közötti kapcsolat erősségét [1, 5, 9, 10]. A közepes széncláncú zsírsavak (Medium-chain fatty acid [MCFA]) 6–12 szénatommal rendelkeznek.

A közepes széncláncú zsírsavak 6–12 szénatommal rendelkeznek

Ide tartozik – elsősorban – a kapronsav (C6:0), a kaprilsav (C8:0), a karinsav (C10:0) és a laurinsav (C12:0). A MCFA-k glicerinnel alkotott észterei a közepes széncláncú trigliceridek (Medium-cahin triglycerides, MCT), amelyek többek között megtalálhatók a kókuszolajban, a pálma- és pálmamagolajban, valamint a fekete katonalégy egyes fejlődési alakjaiból (lárva, előbáb és báb) kivonható zsiradékban. Az utóbbival kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy a fejlődési stádium és a lárvák táplálása jelentős hatással van zsírsavösszetételükre, különös tekintettel a laurinsavra, ami 20–60% között mozoghat [10, 11]. Ezen források zsírsavösszetételét az *1. táblázat* ismerteti. A jelen összefoglaló célja a MCFA-k, ill. MCT-k élettani hatásainak, valamint a baromfi- és sertéstakarmányozásban való alkalmazási lehetőségük bemutatása.

1. TÁBLÁZAT. *A kókuszolaj, a pálma- és pálmamagolaj, valamint a feketekatonalégy-lárva zsírsavösszetétele [5, 47, 11]*

TABLE 1. *Fatty acid composition of coconut oil, palm- and palm-kernel oil, and black soldier fly larvae [5, 47, 11]*

Zsírsav[1]	Kókuszolaj[2]	Pálmamagolaj[3]	Pálmaolaj[4]	Fekete katonalégy[5*]
Telített (%)				
Kapronsav (C6:0)	0,5–1	0,2	–	–
Kaprilsav (C8:0)	5–10	3,3	–	
Kaprinsav (C10:0)	4–8	3,5	–	1,0±0,03
Laurinsav (C12:0)	42–52	47,8	0,2	62,5±0,28%
Mirisztinsav (C14:0)	16–21	16,3	1,1	9,4±0,12
Palmitinsav (C16:0)	7–10	8,5	8,5	7,2±0,05
Sztearinsav (C18:0)	2–4	2,4	39,2	1,0±0,04
Arachidonsav (C20:0)	–	0,1	0,1	
Telítetlen (%)				
Palmitoleinsav (C16:1)	nyomokban			1,8±0,05
Olajsav (C18:1)	5–8	15,4	39,2	7,0±0,06
Linolsav (C18:2)	1–3	2,4	10,1	9,6±0,09
Linolénsav (C18:3)	≤ 0,2	–	0,4	0,6±0,02

*csirketápon nevelt, korai előbábstádium

[1]Fatty acid, [2]Coconut oil, [3]Palm kernel oil, [4]Palm oil, [5]Black Soldier Fly oil

ANTIMIKROBIÁLIS HATÁS

A baktériumok sejtfalához tapadva károsítják azt és plazmaszivárgást okoznak

Az MCFA-k hidrofilek, ami lehetővé teszi a hidrogénkötések létrejöttét a patogén mikroorganizmusok poláris részével. Ezen túlmenően lipofilek is, így a Van der Waals-kölcsönhatás révén kapcsolódni tudnak a mikroorganizmusok sejtfalához. A feltételezett hatásmechanizmus szerint ezt követően károsítják a sejtfalat, ami a citoplazma szivárgásához és a sejt pusztulásához vezet [5, 7]. Továbbá a sejten belül disszociálódó MCFA-k gátolják a citoplazmaenzimek működését és a sejten

belüli táplálóanyag-szállítást. Ezen túlmenően megakadályozzák a vírusfehérjék kötődést a gazdasejtekhez és gátolják bizonyos, a virulenciáért felelős gének kifejeződését [5, 7, 12].

A laurinsav elsősorban a Gram-pozitív baktériumokkal és egyes gombafajokkal szemben hatékony

A zsírsavak baktericid és bakteriosztatikus hatását az alkalmazott koncentráció, a zsírsavak közötti szinergista hatás és a baktériumtörzs is befolyásolja. Pozitív élettani és termelésre gyakorolt hatásaikat közvetlen és közvetett módon is kifejtik. A laurinsav elsősorban a Gram-pozitív baktériumokkal szemben hatékony. *In vitro* vizsgálatokban többek között gátolta a *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, *S. agalactiae*, *S. pyogenes*, növekedését. Kisebb mértékű antimikrobiális hatás figyelhető meg a *Mycobacterium tuberculosis*, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., valamint *Clostridium difficile* esetében. Az *in vitro* vizsgálatok egy részében a laurinsav nem bizonyult hatékonynak az *E. coli*, *Klebsiella oxytoca*, *K. pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* és a *Serratia marcescens* esetében [1, 5, 9, 13–18]. Ugyanakkor Kim és mtsai bizonyították a laurinsav antibakteriális hatását a nagy patogenitású *E. coli* O157: H7-val szemben [19]. A laurinsav szintén hatékony a gombák mint a *Candida albicans*, *Aspergillus niger* vagy a *Fusarium* spp. ellen is [4, 5].

Az antivirális tulajdonságról kevesebb információ áll rendelkezésre. A MCT-k megváltoztatják a vírusok zsíranyagcseréjét, ezáltal energiahiányos állapotot alakítanak ki, ami a vírus pusztulásához vezet. *In vitro* kísérletek alapján hatékonyak lehetnek többek között a sertések járványos hasmenésének vírusa, az afrikai sertéspestis vírus, a vesicularis stomatitis vírus, a SARS CoV-2 vagy a *Herpes simplex* ellen [5, 16, 17, 20–22]. Az eddigi ismeretek szerint a burok nélküli vírusok ellen hatástalanok [22].

EGYÉB ÉLETTANI HATÁSOK

A MCFA-k fokozzák a mitokondriumok oxidatív kapacitását, ezzel növelve az inzulinérzékenységet, ill. csökkentik az oxidatív stresszt

A MCFA-k feltételezett ligandjai az immunsejtekben, az izomsejtekben és a zsírszövetben nagy számban megtalálható GPR84 receptoroknak [17, 23]. A MCFA-k és a GPR84 fokozzák a mitokondriumok oxidatív kapacitását, ezzel növelve az inzulinérzékenységet, valamint csökkentik az oxidatív stresszt. Mivel a mitokondriumok száma a vázizom- és a májsejtekben nagyobb, az inzulinérzékenységre gyakorolt hatás szövetspecifikus. A zsírsavak növelik a sejtben az adenozinmonofoszfát szintjét, ezért hatással vannak a cukor- és zsíranyagcserére is. Irodalmi adatok szerint fokozzák az inzulinreceptorok foszforilációját, ami szintén hozzájárul a javuló inzulinérzékenységhez. Ezen túlmenően közreműködnek a károsodott autofágiás folyamatok helyreállításában is [23, 24].

Az MCFA-k fokozzák a zsírsavak oxidációját. Metabolitjaik, a ketontestek – a lipolízis gátlásával – csökkentik a vérkeringésben lévő zsírsavak és trigliceridek mennyiségét, ezáltal szerepet játszanak a zsíranyagcserében. Humán vizsgálatok és állatkísérletek alapján hatással vannak a ghrelin-, a leptin- és a koleciszto-kinin-termelésre is. Ezen hatásmechanizmusokat azonban még nem tisztázták teljesen, valamint a humán és az állatkísérletek eredményei nem minden esetben mutatnak azonos tendenciákat [23, 24].

A MCFA-k kedvezően hatnak a vékonybél morfológiai szerkezetére. Csökkenthetik a bélboholy/kripta arányát, növelhetik a kehelysejtek számát, ami hozzájárulhat a bélnyálkahártya barrierfunkciójának erősödéséhez. A tejsavtermelő bélbaktériumok számának fokozásával és az antimikrobiális tulajdonságuk által javítják a bélmikrobiom összetételét [23–25].

A MCT-k hidrolízise sokkal gyorsabban lezajlik, mint a hosszú szénláncú trigliceridéké, ami a nagyobb fokú vízoldhatósággal és azzal magyarázható, hogy emulzifikálásukhoz nem szükséges epesav [15, 23]. A vékonybélből való felszívódás után a portális vénán át a májba jutnak. A májsejtekben zajlik le a β-oxidáció, a ketontestek képződése vagy a lipogenezis. A rövidebb szénlánc következményeként a sejtmembránon diffúzióval jutnak át, a mitokondriumba való bejutásuk nem igényel

L-karnitint, így gyorsan metabolizálódnak. Azon túlmenően, hogy energiaforrásként szolgálnak, részt vesznek a különböző sejtfolyamatokat szabályozásában is mint jelátvivő molekulák [23]. Aktiválják a sejtfalban található G-fehérjéhez kapcsolt receptorokat (G protein-coupled receptor, GPCR) és a peroxiszóma-proliferátor által aktivált magreceptort (peroxisome proliferator-activated receptor, PPAR).

A MCT-ket terápiás céllal már alkalmazzák humán epilepszia esetében, ill. a kognitív funkciók javítására. Elmondható, hogy a kutyákkal (5,5–15% MCT a tápban) végzett kísérletek eredményei is bíztatóak. A hatásmechanizmus hátterében az MCT-k ketogén jellege áll, a belőlük képződő ketonanyagokat az agyvelő a glükóz melletti kiegészítő energiaforrásként képes használni [26–28].

FELHASZNÁLÁSA A BAROMFITAKARMÁNYOZÁSBAN

Baromfi esetében a MCFA-k javíthatják a termelési mutatókat

Baromfi esetében a MCFA-k (0,25-6%-ban a takarmányban) javíthatják a termelési mutatókat (testtömeg-gyarapodás, vágósúly, takarmányértékesítés) és a takarmány emészthetőségét, valamint csökkenti az izomzat és a test zsírtartalmát [7, 10, 16, 29–32]. Ugyanakkor – az alkalmazott zsírsavtól függetlenül – nem minden kísérletben sikerült javítani a testtömeg-gyarapodást és a takarmányértékesítést, még azonos típusú és mennyiégű zsírsav alkalmazásakor is eltérő eredmények születhetnek [7]. *(2. táblázat)*.

2. TÁBLÁZAT. *A közepes szénláncú zsírsavak hatása a brojlercsirkék takarmányfelvételére és takarmányértékesítésére [7]*

TABLE 2. *Effects of medium chain fatty acids on the feed intake and feed conversion ratio of broiler chickens [7]*

Kiegészítés a takarmámyban[1]	Takarmányfelvétel a 21–42 nap között[2] (g)	Takarmányértékesítés[3] (kg/kg)
1,5% kókuszolaj	2914,8[T]	1,82
1,5% kókuszolaj	3064[T]	1,52
1,5 and 2 g/kg MCFA	82,06; 83,09[N]	1,9; 1,79
5% kókuszolaj	2510[T]	-
2,5 + 2,5% kókusz- és pálmaolaj	2760[T]	1,79
5% kókuszolaj	2860[T]	-
5% kókuszolaj	3064[T]	-
6% kókuszolaj	2530,7[T]	2,05

MCFA = közepes szénláncú zsírsav, T = teljes takarmányfelvétel, N = napi takarmányfelvétel
[1]Supplement, [2]Total feed intake (kg), [3]Feed conversion ratio, MCFA = medium-chain fatty acid,

Az MCFA-k képesek gátolni a baktériumok toxintermelését és a virulenciafaktorok kifejeződését

A takarmány zsírsavösszetétele hatással van a húsminőségre is. A hús pH-ja, 24 óra elteltével a kókuszolaj hatására jellemzően nagyobb, mint a pálmaolaj-kiegészítésben részesült állatoké, ami az eltérő zsírsavösszetétellel magyarázható, de nem jelent minőségbeli különbséget. A pálmaolaj-kiegészítés hatására világosabb lehet a hús színe és sütés során csökkenhet a vízmegtartó képessége a kókuszolaj kiegészítéseben részesült csirkékhez képest, de ennek mértéke nem jelentős. Az ezen a téren tapasztalható, akár egymásnak ellentmondó kísérleti eredmények hátterében az eltérő analitikai módszerek is állhatnak. A kókuszolaj-kiegészítés a legtöbb eredmény alapján nagyobb sütési veszteséggel jár, mint a pálmaolaj használata [7].

Az MCFA-k, a jelátviteli mechanizmusok megzavarásával, képesek gátolni a baktériumok toxintermelését és a virulenciafaktorok kifejeződését [7]. Alkalmasak a humánegészségügyi szempontból jelentős *Salmonella*- és *Campylobacter*-fertő-

zések mértékének csökkentésére is. Az „Antimikrobiális hatás" fejezetben említett tulajdonságokat *in vivo* kísérletek is alátámasztják többek között *Campylobacter jejuni* (pl. 0,34% kaprilsav; 0,25–0,25% kaprilsav + kaprinsav; 0,25–0,25% laurinsav + kaprinsav; 1% C6–10 tartalmú kereskedelmi termék) és *Salmonella* Typhimurium (3 g/kg kereskedelmi MCFA-keverék, Aromabiotic® Poultry) és *Salmonella enterica* (kapronsav 3 g/kg) esetében is [16, 33–37]. A *Clostridium perfringens* esetében az *in vitro* vizsgálatok bíztatóak (pl. C8–12 különböző kombinációja 0,3–10 g/kg) és a laurinsav hatékonyabbnak tűnik, mint a kapril- vagy a kaprinsav de az *in vivo* kísérletek nem minden esetben bizonyították egyértelműen az antibakteriális hatást [7, 9, 10]. Hasonlóan ellentmondásosak az *E. coli*-val kapcsolatos eredmények is, ami hátterében az is állhat, hogy a különböző kísérletekben eltérő időpontokban vették a mintákat [7, 8, 16, 37]. Ripon és mtsai (2021) a kókuszolaj és pálmaolaj keverékének (2–10 g/kg) etetésekor a 21. napon még nem, de a 42-en már szignifikánsan kisebb *E. coli*-koncentrációt mértek, mint a kontrollcsoportban [8].

Az MCT-forrásként alkalmazott glicerin-monolaurát (1, 3 vagy 5 g/kg) nem javította szignifikánsan a brojlercsirkék súlygyarapodását, de a szérum IgM- és IL-10-szintjének növelésével kedvezően befolyásolja az immunrendszer működését és előnyösen hat a vékonybél morfológiájára is [38]. Ezzel szemben Liu és mtsai (2020) megállapították, hogy a glicerin-monolaurát (300, 450 vagy 600 mg/kg) 28–56 napos kor között növeli a brojlercsirkék testtömeg-gyarapodását és az izomszövet aminosav-tartalmát, valamint a bélflóra összetételére is hatással van [39]. Ugyanezen kiegészítő (150 vagy 300 mg/kg) a 40–64 napos kor közötti tojótyúkok esetében előnyösen befolyásolta a bélflóra összetételét, javította a tojástermelést és a tojások minőségét az 56. hét után (héj szilárdsága és aminosav tartalom). Továbbá 300 mg/kg-os mennyiségben emelte a szérum FSH-, LH- és ösztradiolszintjét, így kedvezően hatott a szaporodásbiológiai mutatókra is [40].

FELHASZNÁLÁSA A SERTÉSTAKARMÁNYOZÁSBAN

Lai és mtsai (2014) kísérlete alapján a tejsavtermelő baktériumok érzékenyek a MCFA-ra, míg a coliformok száma a legnagyobb alkalmazott dózis (4,8% MCT) esetén sem csökkent [41]. Ezzel szemben Zentek és mtsai (2012) csak minimális változást mutattak ki a bélflórában, ami lehet, hogy a kicsi dózisra (0,15% kaprilsav és kaprinsav) vezethető vissza. A MCFA lecitinnel és növényi olajjal való kezelése nem tette védetté a zsírsavakat, koncentrációjuk a hagyományos MCFA-hoz hasonló mértékben változott. Az emésztőrendszerben és a gyomorban megfigyelték az *Eubacteria*, *Enterobacteriaceae*, *Clostridium*, *Lactobacillus johnsonii* és *Lactobacillus amylovorus* számának emelkedését [42]. Amint az a *4. táblázat*ban is látható, több eredmény igazolta a *Clostridium perfringens* elleni antibakteriális hatást [43]. A bélflóra kedvező befolyásolása miatt a laurinsavban gazdag olajkiegészítés csökkentheti a választás utáni hasmenés kialakulását, ill. súlyosságát [18, 25].

A MCT-k gyors felszívódása és oxidációja miatt kisebb valószínűséggel tárolódnak el testzsír formájában

A MCT-k gyors felszívódása és oxidációja miatt kisebb valószínűséggel tárolódnak el testzsír formájában. Vizsgálatok alapján a MCT-k hasnyálmirigylipáz hiányában is hidrolizálódnak. Feltehetően a gyomorlipáz hatására, jobban emésztődnek, mint a hosszú szénláncú zsírsavak. Ez különösen előnyös a malactakarmányozás szempontjából, mivel a malacok hasnyálmirigylipáz-termelése csak a harmadik élethét után kezd növekedni [15, 44]. Az MCT/MCFA-kiegészítés (pl.: 3–5% MCT, ami 48% kaprilsavat, 25% kapronsavat és 25% kaprilsavat tartalmazott; 3% MCT, ami 47,6% kaprilsavat, 26,8% kaprinsavat és 24,9% kapronsavat tartalmazott; 2–6% feketekatonalégy-lárva olaja) javíthatja a malacok súlygyarapodását, a takarmányértékesítést és kedvező hatással van a mikrobiomra is *(3. és 4. táblázat)* [10, 15, 20, 43, 45]. Az MCT-kiegészítés 15%-ig alkalmazható, ezzel szemben

3. TÁBLÁZAT. *A közepes szénláncú zsírsavak hatása a malacok testtömeg-gyarapodására [15]*

TABLE 3. *Effects of medium chain fatty acids on the body weight gain of piglets [15]*

Kiegészítő[1]	Adagolás[4] (%)	Kísérlet hossza[5] (nap)	Testtömeg-gyarapodás a kontrollhoz képest[6] (%)
MCFA[2]-C8	0,3	1–84	+18,7
MCFA-C10	0,3	1–84	+13,0
MCFA-C8+C10	0,3	1–84	+15,8
MCFA-C6+C8+C10+C12	0,2	1–42	+2,8
MCFA-C6 + C10	0,3	28–58	+1,8
MCT[3]	2,5	1–21	+11,0
MCT	1,2	28	+0,4
MCT	3,0	28	+1,1
MCT	4,8	28	+2,0
MCT	3,0	1–14	+7,4

[1]Supplement, [2]Medium Chain Fatty Acid, [3]Medium Chain Triacylglycerol, [4]Dose (%), [5]Experimental days, [6]Improvement of body weight gain (%)

4. TÁBLÁZAT. *A közepes szénláncú zsírsavak hatása a malacok termelési mutatóira [43]*

TABLE 4. *Effects of medium chain fatty acids on the performance of piglets [43]*

Kiegészítő[1]	Bekeverési arány[2]	Kísérleti időszak[3]	Főbb eredmények[4]
Kaprilsav és kaprinsav (6:4 arányban)	8%	21 naposan választott malacok, választás utáni tovább 28 napig tartva (*n* = 164)	Jobb FCR, plazma húgysavszintje csökkent, szérum trigliceridszint nőtt.
Kaprilsav	0,5%	28–32 naposan választott malacok, további 21 napig tartva (*n* = 120)	Szignifikánsan jobb növekedési ütem. A *Cryptosporidium parvum* oocysták ürülése késleltetett és kevésbé intenzív.
Kaprolsav, kaprinsav, Kaprilsav és laurinsav	0,5%	7 napos malacok, további 77 napig tartva (*n* = 183)	Jobb ÁNS és FCR. A vékonybéltartalomban csökkent a *Clostridium perfringens* mennyisége.
Kaprilsav vagy kaprinsav	0,2%	35 naposan választott malacok, további 49 napig tartva (*n* = 252)	Jobb ÁNS, legjobb FCR a kaprilsav-kiegészítéskor. Kisebb mortalitás, javult a fehérje és a rost emészthetősége. A vékonybéltartalomban csökkent a *Clostridium perfringens* mennyisége. Javultak az ileum morfologiai paraméterei.
Kaprolsav, kaprinsav, kaprilsav (külön vagy 1:1:1 arányban)	0,25-1,5%	7–23 kg között választott malacok, további 35 napig tartva (*n* = 360)	Jobb ÁNS és FCR. A legjobb növekedési ütemet a kaprilsav-kiegészítés eredményezte.
Kaprolsav, kaprinsav, kaprilsav (1:1:1, 12:48:40 vagy 4:54:38 arányban)	1% (1:1:1), 3,9% (12:48:40), 1% (4:54:38)	27 naposan választott malacok, további 29 napig tartva (*n* = 100) *E. coli* mesterséges fertőzés	Jobb FCR. A klórtetraciklinnel kezelt csoporttal megegyező növekedési ütem.
Laurinsav	0,1%	A választási időszak (7–25 kg) során folyamatosan adagolva és tenyészkocák. *n* = 32 tesztfarm, *n* = 29 kontroll farm	Éves szinten átlagosan 8 nappal csökkenti az állatonkénti antibiotikumfelhasználás szintjét.
Kaprilsav és kaprinsav	0,15–0,3%	Hízósertések (28 kg-os kezdősúly) 35 napig vizsgálva (*n* = 140)	Jobb ÁNS (antibiotikumos csoporttal megegyező). Lymphocytaszám és IgG-szint nőtt.

ÁNS = átlagos napi súlygyarapodás, FCR = takarmányértékesítés (Feed Conversion Ratio), MCFA = közepes szénláncú zsírsav (Medium Chain Fatty Acid),
[1]Supplemet, [2] Inclusion level, [3]Development stage, [4]Main findings

a MCFA-ok nagyobb mennyiségben (>8%) rontják a takarmány ízét és szagát, ezen keresztül pedig csökkentik a takarmányfelvételt [20]. Szintén javulhat a fehérje emészthetősége, mivel a MCT-k fokozzák a vékonybélben a kolecisztokinin termelődését, ami stimulálja a hasnyálmirigy-eredetű fehérjebontó enzimek szekrécióját [15, 20, 41, 46]. Habár nem minden kísérleti eredmény hozta a vizsgált paraméterek javulását a kontrollhoz képest, negatív hatást nem írtak le [15, 18, 42].

Növelik a bélbolyhok hosszát, csökkentik a kripták mélységét és az intraepithelialis lymphocyták számát

A vemhesség végén 15% MCT-kiegészítést kapó kocák újszülött malacainál kisebb arányú volt az elhullás és a kis súlyú malacok jobban fejlődtek, mint a kontrollcsoportban. Mivel a bélhámsejtek a MCFA-okat közvetlenül tudják használni energiaforrásként jótékonyan hatnak a bél morfológiájára a választás utáni időszakban. További kedvező hatás, hogy növelik a bélbolyhok hosszát, csökkentik a kripták mélységét és az intraepithelialis lymphocyták számát [42].

MEGVITATÁS

Az irodalmi adatok értékelését és összehasonlítását nehezíti, hogy a kísérletek egy részében különböző zsírsavat tartalmazó olajkiegészítést (pl. kókuszolaj, pálmaolaj) használtak, míg másokban egy vagy többféle elkülönített zsírsavat (pl. laurinsav, kaprilsav). Az észterifikált vagy só formájában használt zsírsavak etetésekor egyértelműbbek a testtömeg-gyarapodásra, a bélflórára, ill. az általános egészségi állapotra kifejtett hatások. Különálló alkalmazásuk esetén nem érvényesülhet a szinergista hatás, ugyanakkor itt problémát jelenthet, hogy még azonos olajok esetében sem egységes a zsírsavösszetétel. Jó példa erre a fekete katonalégyből kivont zsír, ami – a rovarok takarmányozásától és életkorától függően – 20–60% közötti laurinsav-tartalmú. Védett formában való alkalmazásuk növelheti a hatékonyságot, ugyanakkor az ezzel járó költségeket is. Optimális mennységben történő gyakorlati alkalmazásukhoz további állatkísérletek szükségesek, mert az *in vitro* eredményeket nem minden esetben igazolják az *in vivo* kísérletek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányt az Állatorvostudományi Egyetem tudományos kutatási alapja támogatta (SRF-001 számú pályázat).

IRODALOM

1. Casillas-Vargas G, Ocasio-Malavé C, Medina S, Morales-Guzmán C, Del Valle RG, Carballeira NM, Sanabria-Ríos DJ (2021) Antibacterial fatty acids: An update of possible mechanisms of action and implications in the development of the next-generation of antibacterial agents. Prog Lipid Res 82:101093. https://doi.org/10.1016/j.plipres.2021.101093

2. Yoon BK, Jackman JA, Valle-González ER, Cho NJ (2018) Antibacterial Free Fatty Acids and Monoglycerides: Biological Activities, Experimental Testing, and Therapeutic Applications. Int J Mol Sci 19:1114. https://doi.org/10.3390/ijms19041114.

3. Desbois AP (2012) Potential applications of antimicrobial fatty acids in medicine, agriculture and other industries. Recent Pat Antiinfect Drug Discov 7:111–122. https://doi.org/10.2174/157489112801619728.

4. Tejaswi AS, Nagaraja A. Ravikanth M, Kumar N, Raj G, Kalyan Y, Divya D (2021) Antifungal Efficacy of Lauric Acid and Caprylic Acid – Derivatives of Virgin Coconut Oil against. BBRJ 5:229–234. https://doi.org/10.4103/bbrj.bbrj_65_21.

5. Nitbani FO, Jumina, Siswanta D, Solikhah EN (2016) Isolation and Antibacterial Activity Test of Lauric Acid from Crude Coconut Oil (*Cocos nucifera* L.). Procedia Chem 18:132–140. https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.01.021.

6. Borrelli L, Varriale L, Dipineto L, Pace A, Menna LF, Fioretti A (2021) Insect Derived Lauric Acid as Promising Alternative Strategy to Antibiotics in the Antimicrobial Resistance Scenario. Front Microbiol 12:620798. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.620798.

7. Szabó RT, Kovács-Weber M, Zimborán Á, Kovács L, Erdélyi M. (2023) Effects of Short- and Medium-Chain Fatty Acids on Production, Meat Quality, and Microbial Attributes – A Review. Molecules 28:4956. https://doi.org/10.3390/molecules28134956.

8. Ripon MMR, Rashid MH, Rahman MM, Ferdous MF, Arefin MS, Sani AA, Hossain MT, Ahammad MU, Rafiq K (2019) Dose-dependent response to phytobiotic supplementation in feed on growth, hematology, intestinal pH, and gut bacterial load in broiler chicken. J Adv Vet Anim Res 6:253–259. https://doi.org/10.5455/javar.2019.f341.

9. Yang HT, Chen JW, Rathod J, Jiang YZ, Tsai PJ, Hung YP, Ko WC, Paredes-Sabja D, Huang IH (2018) Lauric Acid Is an Inhibitor of Clostridium difficile Growth in Vitro and Reduces Inflammation in a Mouse Infection Model. Front Microbiol 8:2635. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02635.

10. Benzertiha A, Kierończyk B, Rawski M, Mikołajczak Z, Urbański A, Nogowski L, Józefiak D (2020) Insect Fat in Animal Nutrition – A Review. Ann Anim Sci 20:1217–1240. https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0076.

11. Liu X, Chen X, Wang H, Yang Q, Ur Rehman K, Li W, Cai M, Li Q, Mazza L, Zhang J, Yu Z, Zheng L (2017) Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. PLoS One 12:e0182601. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601.

12. Kollanoor-Johny A, Mattson T, Baskaran SA, Amalaradjou MA, Hoagland TA, Darre MJ, Khan MI, Schreiber DT, Donoghue AM, Donoghue DJ, Venkitanarayanan K (2012) Caprylic acid reduces Salmonella Enteritidis populations in various segments of digestive tract and internal organs of 3- and 6-week-old broiler chickens, therapeutically. Poult Sci 91:1686–1694. https://doi.org/10.3382/ps.2011-01716.

13. Matsue M, Mori Y, Nagase S, Sugiyama Y, Hirano R, Ogai K, Ogura K, Kurihara S, Okamoto S (2019) Measuring the Antimicrobial Activity of Lauric Acid against Various Bacteria in Human Gut Microbiota Using a New Method. Cell Transplant 28:1528–1541. https://doi.org/10.1177/0963689719881366

14. Anzaku AA, Akyala JI, Juliet A, Obianuju EC (2017) Antibacterial Activity of Lauric Acid on Some Selected Clinical Isolates. Ann Clin Lab Res 05. https://doi.org/10.21767/2386-5180.1000170.

15. Hanczakowska E (2017) The Use of Medium-Chain Fatty Acids in Piglet Feeding – A Review. Ann Anim Sci 17:967–977. https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0099.

16. Jadhav P, Manwar S, Khose K, Wade M, Gole M, Langote G (2021) Effect of Medium Chain Fatty Acids as Replacement to Antibiotics in Diets on Growth Performance and Gut Health in Broiler Chicken. IJAR. 55:894–899. https://doi.org/10.18805/IJAR.B-4188.

17. Jadhav HB, Annapure US (2023) Triglycerides of medium-chain fatty acids: a concise review. J Food Sci Technol 60:2143–2152. https://doi.org/10.1007/s13197-022-05499-w

18. Canibe N, Højberg O, Kongsted H, Vodolazska D, Lauridsen C, Nielsen TS, Schönherz AA (2022) Review on Preventive Measures to Reduce Post-Weaning Diarrhoea in Piglets. Animals (Basel) 12:2585. https://doi.org/10.3390/ani12192585.

19. Kim SA, Rhee MS (2016) Highly enhanced bactericidal effects of medium chain fatty acids (caprylic, capric, and lauric acid) combined with edible plant essential oils (carvacrol, eugenol, β-resorcylic acid, trans-cinnamaldehyde, thymol, and vanillin) against Escherichia coli O157:H7. Food Control 60:447–454. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.022.

20. Zentek J, Buchheit-Renko S, Ferrara F, Vahjen W, Van Kessel AG, Pieper R (2011) Nutritional and physiological role of medium-chain triglycerides and medium-chain fatty acids in piglets. Anim Health Res Rev 12:83–93. https://doi.org/10.1017/S1466252311000089.

21. Lerner AB, Cochrane RA, Gebhardt JT, Dritz SS, Jones CK, DeRouchey JM, Tokach MD, Goodband RD, Bai J, Porter E, Anderson J, Gauger PC, Magstadt DR, Zhang J, Bass B, Karnezos T, de Rodas B, Woodworth JC (2020) Effects of medium chain fatty acids as a mitigation or prevention strategy against porcine epidemic diarrhea virus in swine feed. J Anim Sci 98:skaa159. https://doi.org/10.1093/jas/skaa159.

22. Jackman JA, Hakobyan A, Zakaryan H, Elrod CC (2020) Inhibition of African swine fever virus in liquid and feed by medium-chain fatty acids and glycerol monolaurate. J Anim Sci Biotechnol 11:114. https://doi.org/10.1186/s40104-020-00517-3.

23. Huang L, Gao L, Chen C (2021) Role of Medium-Chain Fatty Acids in Healthy Metabolism: A Clinical Perspective. Trends Endocrinol Metab 32:351–366. https://doi.org/10.1016/j.tem.2021.03.002.

24. Roopashree PG, Shetty SS, Suchetha Kumari N (2021) Effect of medium chain fatty acid in human health and disease. J Funct Foods 87:104724. https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104724.

25. Zeng X, Yang Y, Wang J, Wang Z, Li J, Yin Y, Yang H (2022) Dietary butyrate, lauric acid and stearic acid improve gut morphology and epithelial cell turnover in weaned piglets. Anim Nutr 11:276–282. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.07.012.

26. Han FY, Conboy-Schmidt L, Rybachuk G, Volk HA, Zanghi B, Pan Y, Borges K (2021) Dietary medium chain triglycerides for management of epilepsy: New data from human, dog, and rodent studies. Epilepsia 62:1790–1806. https://doi.org/10.1111/epi.16972.

27. Haake J, Meyerhoff N, Meller S, Twele F, Charalambous M, Wilke V, Volk H (2023) Investigating Owner Use of Dietary Supplements in Dogs with Canine Cognitive Dysfunction. Animals 13:3056. https://doi.org/10.3390/ani13193056.

28. Law TH, Davies ESS, Pan Y, Zanghi B, Want E, Volk HA (2015) A randomised trial of a medium-chain TAG diet as treatment for dogs with idiopathic epilepsy. Br J Nutr 114:1438–1447. https://doi.org/10.1017/S000711451500313X.

29. Attia YA, Al-Harthi MA, Abo El-Maaty HM (2020) The Effects of Different Oil Sources on Performance, Digestive Enzymes, Carcass Traits, Biochemical, Immunological, Antioxidant, and Morphometric Responses of Broiler Chicks. Front Vet Sci 7:181. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00181.

30. Khosravinia H (2015) Effect of dietary supplementation of medium-chain fatty acids on growth performance and prevalence of carcass defects in broiler chickens raised in different stocking densities. J Appl Poult Res 24:1–9. https://doi.org/10.3382/japr/pfu001.

31. Zimboran A, Weber M, Szabo S, Szabo RT, Drobnyak A, Erdelyi M (2021) Effect of different oils supplementation on broiler chicken performance. Anim Nutr Feed Technol 21:205–211. https://doi.org/10.5958/0974-181X.2021.00017.2.

32. Kim B, Bang HT, Jeong JY, Kim M, Kim KH, Chun JL, Ji SY (2021) Effects of Dietary Supplementation of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Oil on Broiler Health. J Poult Sci 58:222–229. https://doi.org/10.2141/jpsa.0200070.

33. Evans NP, Collins DA, Pierson FW, Mahsoub HM, Sriranganathan N, Persia ME, Karnezos TP, Sims MD, Dalloul RA (2017) Investigation of Medium Chain Fatty Acid Feed Supplementation for Reducing *Salmonella Typhimurium* Colonization in Turkey Poults. Foodborne Pathog Dis 14:531–536. https://doi.org/10.1089/fpd.2016.2273.

34. Van Immerseel F, De Buck J, Boyen F, Bohez L, Pasmans F, Volf J, Sevcik M, Rychlik I, Haesebrouck F, Ducatella R (2004) Medium-chain fatty acids decrease colonization and invasion through hilA suppression shortly after infection of chickens with Salmonella enterica serovar Enteritidis. Appl Environ Microbiol 70:3582–3587. https://doi.org/10.1128/aem.70.6.3582-3587.2004.

35. Solis de Los Santos F, Donoghue AM, Venkitanarayanan K, Dirain ML, Reyes-Herrera I, Blore PJ, Donoghue DJ (2008) Caprylic acid supplemented in feed reduces enteric *Campylobacter jejuni* colonization in ten-day-old broiler chickens. Poult Sci 87:800–804. https://doi.org/10.3382/ps.2007-00280.

36. Çenesiz AA, Çiftci İ (2020) Modulatory effects of medium chain fatty acids in poultry nutrition and health. Worlds Poult Sci J 76:234–248. https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1739595.

37. Skřivan M, Marounek M, Englmaierová M, Čermák L, Vlčková J, Skřivanová E (2018) Effect of dietary fat type on intestinal digestibility of fatty acids, fatty acid profiles of breast meat and abdominal fat, and mRNA expression of lipid-related genes in broiler chickens. PLoS One 13:e0196035. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196035.

38. Amer SA, A-Nasser A, Al-Khalaifah HS, AlSadek DMM, Abdel Fattah DM, Roushdy EM, Sherief WRIA, Farag MFM, Altohamy DE, Abdel-Wareth AAA, Metwally AE (2021) Effect of Dietary Medium-Chain α-Monoglycerides on the Growth Performance, Intestinal Histomorphology, Amino Acid Digestibility, and Broiler Chickens' Blood Biochemical Parameters. Animals 11:57. https://doi.org/10.3390/ani11010057.

39. Liu T, Tang J, Feng F (2020) Glycerol monolaurate improves performance, intestinal development, and muscle amino acids in yellow-feathered broilers via manipulating gut microbiota. Appl Microbiol Biotechnol 104:10279–10291. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10919-y.

40. Liu T, Li C, Li Y, Feng F (2020) Glycerol Monolaurate Enhances Reproductive Performance, Egg Quality and Albumen Amino Acids Composition in Aged Hens with Gut Microbiota Alternation. Agriculture 10:250. https://doi.org/10.3390/agriculture10070250.

41. Lai W, Yen H, Lin C, Chiang S (2014) The effects of dietary medium-chain triacylglycerols on growth performance and intestinal microflora in young pigs. J Anim Feed Sci 23:331–336. https://doi.org/10.22358/jafs/65669/2014.

42. Zentek J, Buchheit-Renko S, Männer K, Pieper R, Vahjen W (2012) Intestinal concentrations of free and encapsulated dietary medium-chain fatty acids and effects on gastric microbial ecology and bacterial metabolic products in the digestive tract of piglets. Arch Anim Nutr 66:14–26. https://doi.org/10.1080/1745039x.2011.644916.

43. Jackman JA, Boyd RD, Elrod CC. (2020) Medium-chain fatty acids and monoglycerides as feed additives for pig production: towards gut health improvement and feed pathogen mitigation. J Anim Sci Biotechnol 11:44. https://doi.org/10.1186/s40104-020-00446-1.

44. Price KL, Lin X, van Heugten E, Odle R, Willis G, Odle J (2013) Diet physical form, fatty acid chain length, and emulsification alter fat utilization and growth of newly weaned pigs. J Anim Sci 91:783–792. https://doi.org/10.2527/jas.2012-5307.

45. Heugten EV, Martinez G, McComb A, Koutsos E (2019) 285 Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil improves growth performance of nursery pigs. Journal of Animal Science 97(Supplement_3):118–118. https://doi.org/10.1093/jas/skz258.244.

46. Yen HC, Lai WK, Lin CS, Chiang SH (2015) Medium-chain triglyceride as an alternative of in-feed colistin sulfate to improve growth performance and intestinal microbial environment in newly weaned pigs. Anim Sci J 86:99–104. https://doi.org/10.1111/asj.12248.

47. Mancini A, Imperlini E, Nigro E, Montagnese C, Daniele A, Orrù S, Buono P (2015) Biological and Nutritional Properties of Palm Oil and Palmitic Acid: Effects on Health. Molecules 20:17339–17361. https://doi.org/10.3390/molecules200917339.

Közlésre érk.: 2024. febr. 1.