

Az n-3 zsírsavak hatása nagy teljesítményű tenyészkocák fontosabb termelési és szaporodásbiológiai paramétereire

Roszkos Róbert 

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Állatbiotechnológiai és Állattudományi Doktori Iskola,
Gödöllő, Magyarország
ADEXGO Kft., Balatonfüred, Magyarország
E-mail: robert.roszkos@adexgo.hu

Beérkezett: 2022. augusztus 23.; Elfogadva: 2022. november 29.; Online megjelent: 2023. március 8.

Összefoglalás

A kutatás célja olyan n-3 zsírsavakra alapozott takarmányozási módszer fejlesztése, ami javíthatja a nagy teljesítményű tenyészkocák termelési mutatóit, és ezáltal gazdaságosabbá teheti termelésüket. A kifejlesztett kiegészítő takarmányok hatásainak vizsgálata nagyüzemi körülmények között, több kísérletben, különböző dózisokban és eltérő időszakokban etetve történt. Az eredmények pontosabb értékelése céljából a hagyományos vizsgálatok mellett gyorsvizsgálati módszerek (pl. elektronikus orr) alkalmazására is sor került. A kísérletek eredményei alapján olyan etetési stratégia kidolgozása van folyamatban, amely hatékonyan képes kiegészíteni a magyarországi sertés készitakarmányok esszenciális zsírsavkészletét, és hosszú távon eredményesen javíthatja a tenyészkocák teljesítménymutatóit.

Kulcsszavak: n-3 zsírsavak, koca, szaporodásbiológia, halolaj, elektronikus orr

Effect of n-3 fatty acids on the performance and reproduction parameters of modern sows

Róbert Roszkos

Doctoral School of Animal Science, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő, Hungary
ADEXGO Kft., Balatonfüred, Hungary

Summary

The research aimed to develop a feeding strategy based on n-3 fatty acids, which can improve the production parameters of high-performance breeding sows and thereby make their production more economically advanced. To earn this, the effects of the developed supplementary feeds on the performance of sows and their piglets in several large-scale swine farm experiments, at different doses and periods were investigated.

In the first trial, the effects of n-6 and n-3 fatty acid supplementation on the performance parameters of sows and the fatty acid profile of sow milk were examined. Besides traditional fatty acid analysis, a novel electronic nose method was also used. The control group received 10 g of sunflower oil-based supplementation rich in n-6 fatty acids per kg feed. Experimental animals received the same amount of fish oil as an n-3 fatty acid source. The diets were corn- and soybean meal-based. Supplementation of fish oil reduced the wean to oestrus interval (non-significantly) in the trial group and decreased the number of sows having oestrus later than seven days after weaning. The treatments did not affect the performance of the subsequent farrow of sows. Supplementation of fish oil significantly increased the amount of n-3 polyunsaturated fatty acids, especially eicosapentaenoic acid (C20:5, n-3), docosapentaenoic acid (C22:5, n-3), and docosahexaenoic acid (C22:6, n-3), in the milk ($p < 0.001$). The chemical composition of milk was

not affected by the treatments. The electronic nose could separate milk samples collected from control and trial groups based on their odour profile.

In the second trial, the effects of n-3 fatty acid supplementation on the performance parameters of sows and their piglets were investigated in a special nutritional situation when α -linolenic acid (C18:3, n-3) was already high in the sows' compound feeds. The control group received no supplementation during the trial, but experimental animals received 5 g of fish oil-based supplement instead of linseed meal-based supplementation. The diets were corn- and soybean, and linseed meal-based. Supplementation of fish oil during lactation reduced the weaning mortality of piglets in the trial groups (1st replication: $p < 0.00$; 2nd replication: $p < 0.04$). Wean to oestrus interval decreased significantly in the case of the trial group in the 1st replication ($p < 0.019$) but was not changed in the 2nd. The rate of late oestrus, conception, and farrowing were apparently improved in the trial group in both replications compared to the control. The results of the subsequent farrow were also better in the trial group, where the number of live-born piglets increased in both replications compared to the recent farrow.

Based on the results, a feeding strategy is being developed that can effectively supply Hungarian sow feeds with those n-3 fatty acids, which can improve the long-term performance parameters of breeding sows.

Keywords: n-3 fatty acids, sow, reproduction biology, fish oil, electronic nose

Előszó

Az élelmiszerbiztonság fenntartásában jelentős szerepe van a húsnak és hústermékeknek, ezen belül a sertéshúsnak. A folyamatos sertéshúsellátás csak olyan módon biztosítható, ha a sertéstenyésztési szakágazat ehhez az alapanyagot, azaz a hízósértést elegendő mennyiségben biztosítja. A hízósértés-előállítás alapja egészséges és nagy szaporodóképességű kocaállomány fenntartása, mert csak ennek révén biztosítható a folyamatos hízó alapanyag. A nagy szaporodóképességű modern sertésfajták táplálóanyagokkal szemben támasztott igényét okszerű takarmányozással biztosítani lehet, de a szaporodásbiológiai paraméterek csak egyéb, korábban nem alkalmazott kiegészítő takarmányokkal javíthatók. Ezek közé tartoznak a számos kedvező élettani, ezen belül szaporodásbiológiai hatással rendelkező többszörösen telítetlen zsírsavak közül az n-3 zsírsavcsaládba tartozó zsírsavak. A hazai takarmánybázis ezeket kis mennyiségben tartalmazza, így szükségessé vált olyan új innovatív kiegészítő takarmány kifejlesztése, amellyel a kocák ez irányú igényei kielégíthetők. A kutatás során kialakításra került egy, a fenti célokhoz megfelelő, kiegészítő takarmány, amelynek hatását üzemi körülmények között vizsgáltuk. Az eredmények alapján a kifejlesztett nagy n-3 zsírsav tartalmú kiegészítő takarmány alkalmazásával javítható a nagy szaporodóképességű kocák szaporodásbiológiai teljesítménye, valamint a választott malacok életképessége, ezzel biztosítva a folyamatos hízóalapanyag-előállítást.

Dr. Mézes Miklós
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

Vállalati szakértői előszó

Roszkos Róbert, KDP-ösztöndíjas hallgató kutatásának célja olyan n-3 zsírsavakra (elsősorban eikozapentaénsav-C20:5 és dokózahexaénsav-C22:6) alapozott takarmányozási módszer, illetve kiegészítő takarmányok fejlesztése, amely javíthatja a nagy teljesítményű, modern genotípusú

kocák természetes termelési és szaporodásbiológiai mutatóit. Részt vesz továbbá egy újfajta gyorsvizsgálati módszer (elektronikus orr) kidolgozásában is, amely a takarmányok, élelmiszer-alapanyagok, illetve jelen esetben a kocatej illatprofilját értékeli. A kutatómunkája során aktív közreműködője volt a kísérleteiben alkalmazott, szilárd formájú kiegészítő takarmányok fejlesztésének, és értékelt az oxidatív stabilitását (eltarthatóságát) is. A kiegészítő takarmányok fejlesztése során olyan olajforrásokat, halolajat (n-3 zsírsavforrás), illetve napraforgóolajat (n-6 zsírsavforrás) alkalmazott, amelyek eltérő mennyiségben és arányban tartalmazzák az n-6/n-3 zsírsavakat. A kidolgozott takarmányreceptúrák alapján összeállított takarmányadagok hatékonyságát ún. „szuperszaporó”, DanBred tenyészkocáknál értékelt. Mérté az egyes kísérleti csoportokba tartozó, azaz eltérő zsírsavösszetételű keveréktakarmányt fogyasztó kocák egyes termelési és szaporodásbiológiai mutatóit. A vizsgálat ideje alatt a kocáktól tejmintákat gyűjtött annak meghatározására, hogy az n-6/n-3 zsírsavakat eltérő arányban tartalmazó takarmányok etetése milyen változásokat idéz elő a kocatej zsírsavösszetételében. A vérmintákból vizsgálta az egyes szexuálissteroid hormonok koncentrációját a szaporodásbiológiai állapot felmérése érdekében. Az eltérő zsírsavösszetételű takarmányok etetése befolyásolhatja a kocák szervezetének lipidperoxidációs és antioxidáns státuszát, ezért értékelt a kocák véreben ezen paraméterek változását is. Elvégezte a különböző zsírsavforrások (napraforgóolaj, halolaj) kocatej illatára gyakorolt hatásának vizsgálatát elektronikus orr (e-orr) berendezéssel annak érdekében, hogy megállapíthassa a módosított zsírsavösszetételű tej esetleges befolyását a malacok kocatejfelvételére. Összefoglalóan megállapítható, hogy Roszkos Róbert KDP-ösztöndíjas tudományos igényű vizsgálatokkal a gyakorlat számára nagy jelentőséggel bíró termék-, illetve módszerfejlesztést végez, ami a későbbiek során alkalmas lehet több tagból álló kiegészítőtakarmány-termékcsoport összeállítására, illetve a telepi szaktanácsadásban alkalmazható mérési módszerek adaptálására is.

Dr. Tóth Tamás
kutatóprofesszor

1. Bevezetés

A nagy szaporodóképességű tenyészkocák energia- és táplálékanyag-igényének kielégítése jelentősen befolyásolja a kocák teljesítményét és termelésben maradását. Számos kísérletben nyert igazolást, hogy a helyesen megválasztott energiakiégészítés hatására javulnak a tenyészállatok szaporasági mutatói. A bevitt energiátöbbletnek köszönhetően fokozódik a follikulus stimuláló (FSH) és a luteinizáló hormon (LH) elválasztás (Hightshoe et al. 1991), ami kedvezően hat a tüszőnővekedésre, és pozitívan befolyásolja az ovulációt követő progeszterontermelést. Az energiakiégészítésre használt zsírok, olajok között léteznek olyanok, amelyek célzottan javíthatják az állatok szaporodásbiológiai és egyéb termelési paramétereit. Ezek a hosszú szénláncú, többszörösen telítetlen zsírsavak (PUFAs – polyunsaturated fatty-acids) közé tartozó n-3 zsírsavak. Az n-3 zsírsavak pozitív hatásait a sertéstakarmányozásban számos kutatásban igazolták (Roszkos et al. 2021), ennek ellenére a gyakorlati sertéstakarmányozás mind a mai napig nem használja ki a bennük rejlő potenciált.

A többszörösen telítetlen zsírsavak közül a linolsav (C18:2, n-6) és az α -linolénsav (C18:3, n-3) esszenciálisak a sertések számára, mivel a szervezetük nem képes előállítani ezeket a zsírsavakat, ezért azokat külső forrásból, a takarmánnyal kell bevinni (Kurlak–Stephenson 1999). A többszörösen telítetlen zsírsavak részt vesznek a sejtek külső membránjainak felépítésében, hormonok (pl. prosztanoidok) bioszintézisében és az immunfolyamatokban (Stillwell–Wassall 2003). Emellett befolyásolják egyes gének expresszióját, amelyek többek között a zsíranycsere szabályozásában játszanak szerepet (Price–Nelson–Clarke 2000; Jump 2002).

Élettani szempontból a legfontosabb többszörösen telítetlen zsírsavak a linolsavból képződő arachidonsav (ARA; C20:4, n-6), valamint az α -linolénsavból képződő eikozapentaénsav (EPA; C20:5, n-3) és dokozahexaénsav (DHA; C22:6, n-3) (Kurlak–Stephenson 1999).

Wathes–Abayasekara–Aitken (2007) szerint a többszörösen telítetlen zsírsavak olyan módon befolyásolják a sertések szaporodásbiológiai teljesítményét, hogy hatással vannak a tüszők fejlődésére, valamint befolyásolják a prosztaglandinok és szteroidok képződéséhez szükséges enzimeket kódoló gének expresszióját. A többszörösen telítetlen zsírsavak a placentán keresztül a magzatba jutnak, majd a tejből felszívódnak a fiatal állatok szervezetében (Sampels et al. 2011).

Kutatásom célja olyan n-3 zsírsavakra alapozott takarmányozási módszer kifejlesztése, ami javíthatja a nagy teljesítményű kocák szaporodásbiológiai mutatóit, és ezáltal gazdaságosabbá teheti termelésüket. Ennek érdekében több nagyüzemi kísérletet, illetve etetési tesztet végeztem. A dolgozat a legfontosabb eredményeket mutatja be.

2. Anyag és módszer

A nagyüzemi kísérletekben több dózisban és több etetési intervallumban teszteltem a kifejlesztett magas n-3 zsírsavtartalmú kiegészítő takarmányok hatásait a tenyészkocák termelési paramétereire, valamint technológiai újítként gyorsvizsgálati módszerek segítségével elemeztem a kocatejbe kiválasztódó zsírsavak hatását a kocatej illatprofiljára.

2.1. Az első kísérlet

Az első kísérletet egy 2500 kocás, DanBred (dán nagyfehérxdán lapály) állománnyal termelő nagyüzemi sertéstelepen végeztem. A fiatzató termekben és a választás utáni egyedi, majd csoportos kocaszállásokon a tartási és takarmányozási körülmények az egész telepen azonosak voltak.

A kísérlet a fiatzató termekben történő betelepítés után a 110–114. vemhességi napon kezdődött, és a következő termékenyítést követő kb. 30. napon történő vemhességvizsgálattal (ultrahangos diagnosztika) ért véget. A kocákat kondíciójuk szerinti takarmányozási görbe alapján etették a kísérlet során (térfogat-adagolás Big Dutchman etetők; Big Dutchman International GmbH, Németország), korlátlan vízfogyasztási lehetőség mellett.

2.1.1. A kísérletben részt vevő állatok

A kísérletet két ismétlésben végeztem el. A kísérletben többször ellett kocákat vontam be (ellésszám: 2–6). A kocák termelési paramétereinek értékelése során 209 kontroll és 176 kísérleti koca adatai álltak rendelkezésre.

A jelenlegi és az előző fialási adatok alapján (ellésszám, élve született malac, halva született malac, mumifikált malac, két ellés közötti idő) hasonló teljesítményű kocák szűkebb csoportját alakítottam ki, amelyektől tejmintát gyűjtöttem további vizsgálatok céljából. A szűkebb kocacsoport kontrollegyedeinek átlagos ellésszáma $3,28 \pm 0,79$, míg a kísérletieké $3,20 \pm 0,87$ volt. Minden koca esetében rögzítettem a termelési mutatókat (jelenlegi ellés során az élve született, halva született és mumifikált malacok száma; a következő ellés során az élve született, halva született és mumifikált malacok száma; a malacok átlagos választási tömege és elhullási %-a az egyes fiatzató termekben; a kocák szaporasági mutatói).

2.1.2. Mintagyűjtések

Összesen 12 kontroll és 12 kísérleti állattól gyűjtöttem tejmintát a szoptatás 14. napján. Először a malacokat elkülönítettem az anyjuktól, majd a kocák 10 IU oxitocin injekciót kaptak izomba, miután kézzel fejtem le a tejet (Noblet–Etienne 1989). A mintákat $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on tároltuk, majd analizáltuk táplálékanyag- és zsírsavtartalmukat, valamint elektronikus orr segítségével kerestük a kontroll és kísérleti állatok tejmintái közti különbségeket.

2.1.3. Takarmányozás

A kocák takarmánya kukorica-árpa-szójaalapú volt. A kontroll szoptató kocatápra 10 g/kg dózisban napraforgóolaj-tartalmú kiegészítő takarmányt kevertünk, míg a kísérleti csoport ugyanilyen arányban halolajtartalmú kiegészítő takarmányt kapott. A kontroll kiegészítő takarmány n-6/n-3 zsírsav aránya 1433, míg a kísérletié 0,22 volt. A kiegészítő takarmányok azonos mennyiségű árpadara helyett kerültek a receptúrába.

A kontroll és kísérleti kiegészítő takarmányokat nem a vemhes kocatápra alkalmaztuk, hanem azokat „on top” a számított takarmányadagon felül kapták az állatok. A vemhes fázisban a kiegészítő takarmányok dózisa a szoptató kocatápra kevert dózishoz hasonlóan 10 g/kg volt. A kísérletben etetett takarmányok táplálóanyag-, illetve energiatartalmát az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat | A kontroll és a kísérleti kocatápra táplálóanyag-, valamint energiatartalma

Táplálóanyag- és energiatartalom	Szoptató kocatápra		Vemhes kocatápra	
	Kontroll	Kísérleti	Kontroll	Kísérleti
DE _s (MJ/kg)	13,91	13,92	12,39	12,40
ME _s (MJ/kg)	13,44	13,44	11,97	11,97
Nyersfehérje (%)	16,03	16,03	12,75	12,75
Nyerszsír (%)	6,41	6,42	4,26	4,27
Nyersrost (%)	3,65	3,65	6,19	6,19
Nyershamu (%)	5,46	5,45	4,87	4,86
Lizin (%)	1,04	1,04	0,69	0,69
Metionin (%)	0,34	0,34	0,28	0,28
Metionin + cisztein (%)	0,62	0,62	0,52	0,52
Triptofán (%)	0,68	0,68	0,51	N0,51

DE_s = emészthető energia (sertés); ME_s = metabolizálható energia (sertés)

A napraforgóolaj- és halolajtartalmú kiegészítő takarmányok hatására a kontroll és a kísérleti szoptató kocatápra zsírsavösszetétele jelentősen megváltozott (2. táblázat). Mivel a napraforgóolajban az n-6 zsírsavak vannak túlsúlyban, így a kontroll kocatápra a linolsav (LA, C18:2n6) mennyisége nőtt, a kísérletben viszont a halolajban található eikozapentaénsav (EPA, C20:5n-3), dokozapentaénsav (DPA, C22:5n-3) és a dokozahexaénsav (DHA, C22:6n-3) mennyisége lett nagyobb. Ennek megfelelően a kocatápra n-6/n-3 zsírsav aránya is jelentősen megváltozott. A kontrollé 15,08, míg a kísérletié 7,38-ra szűkül.

2.2. A második kísérlet

A második kísérletet egy 2000 kocás, nagyüzemi sertéstelepen végeztem. A telep FI-es kocáit (nagyfehérxlapály) évek óta dán duroc tenyészkannokkal termékenyítik. A telep egyhetes rotációval működik. Dajkásításra az ellést

2. táblázat | A kontroll és a kísérleti szoptató kocatápra zsírsavtartalma

Zsírsav (mg/g takarmány)	Kontroll	Kísérleti
C18:2 (n-6)	15,78	13,70
C18:3 (n-3)	0,82	0,88
C20:2 (n-6)	0,05	0,06
C20:3 (n-6)	0,02	0,03
C20:5 (n-3)	0,08	0,40
C22:5 (n-3)	0,04	0,12
C22:6 (n-3)	0,11	0,49
n-6/n-3 arány	15,08	7,38

követő 24 óra elteltével kerül sor, a malacok kiegészítő táplálása tejítató rendszerrel történik. A fiaztató termekben és a választás utáni egyedi, illetve csoportos kocaszállásokon a tartási és takarmányozási körülmények az egész telepen azonosak.

A kísérlet egy teljes szaporodásbiológiai cikluson keresztül (fialástól-fialásig) folyt két egymást követő ismétlésben.

2.2.1. A kísérletben részt vevő állatok

A kontroll- és a kísérleti állatok a telep rotációs rendszere alapján az egymást követő kocacsoportokból kerültek ki (kb. 84 db koca/vizsgáló csoport). A kísérlet során minden kocát (kontroll és kísérleti egyaránt) azonos fiaztatótermekben helyeztünk el. A választás után az állatok ugyanazon istálló bűgatótermébe kerültek, míg a vemhességvizsgálat után a kocákat kiscsoportosan tartották (10 koca/csoport).

Az első ismétlésben a kísérleti csoportot követte a kontroll, míg a második ismétlésben a kontrollcsoport után következett a kísérleti.

2.2.2. Mintagyűjtések

A vizsgáló csoportok által fogyasztott tápokból mindkét ismétlésben mintát vettünk (n = 12) a táplálóanyagok, illetve a zsírsavprofil meghatározásához. A kontroll és kísérleti kocatápra organoleptikus tulajdonságait elektronikus orr segítségével is összehasonlítottuk.

2.2.3. Takarmányozás

A tenyészkocák takarmányozása kukorica-szója-lenmagalapú volt. A telep háromfázisú kocatakarmányozást folytat (vemhes, szoptató és bűgató kocatápra), ezért a kísérlet takarmányozási szempontból három részre oszlott.

A szoptatás alatt (kb. 30 nap) a kísérleti állatok 5 g/kg dózisban magas EPA- és DHA-tartalmú halolajalapú kiegészítő takarmányt kaptak a szoptató kocatápra keverve. A választás és a vemhességvizsgálat között (kb. 35 nap) a kísérleti állatok 5 g/kg dózisban magas EPA- és DHA-tartalmú halolajalapú kiegészítő takarmányt kaptak a bűgató kocatápra keverve. A vemhességvizsgálat és a fiaztató termekben történő telepítés között (kb. 80 nap)

3. táblázat | A kocák takarmányozásánál használt tápok (vemhes, szoptató, bűgató) táplálóanyag- és energiatartalma

Táplálóanyag- és energiatartalom	Vemhes kocatápok		Szoptató kocatápok		Bűgató kocatápok	
	Kontroll	Kísérleti	Kontroll	Kísérleti	Kontroll	Kísérleti
DE _s sertés (MJ/kg)	13,05	13,09	14,22	14,25	13,34	13,37
ME _s sertés (MJ/kg)	12,46	12,49	13,66	13,70	12,77	12,80
Szárazanyag (%)	88,45	88,45	89,62	89,62	89,02	89,02
Nyersfehérje (%)	14,57	14,49	17,30	17,22	14,61	14,53
Nyerszsír (%)	2,21	2,39	5,99	6,16	3,66	3,83
Nyersrost (%)	7,08	7,04	4,28	4,24	5,87	5,83
Nyershamu (%)	5,80	5,95	5,57	5,72	5,74	5,89
Lizin (%)	0,79	0,79	1,14	1,14	1,01	1,01
Metionin (%)	0,27	0,27	0,42	0,42	0,39	0,39
Metionin+cisztein (%)	0,54	0,54	0,70	0,70	0,65	0,65
Triptofán (%)	0,17	0,17	0,22	0,22	0,19	0,19

DE_s = emészthető energia (sertés); ME_s = metabolizálható energia (sertés)

a kísérleti állatok 5 g/kg dózisban magas EPA- és DHA-tartalmú halolajalapú kiegészítő takarmányt kaptak a vemhes kocatápra keverve.

A kontrollcsoportok takarmányaiban nem volt kiegészítés a kísérlet alatt. A kontrollcsoportok takarmányai nagy arányban tartalmaztak extrudáltlenmag-alapú kiegészítést (vemhes táp: 5 g/kg, szoptató és bűgató táp: 45 g/kg). A kísérleti kiegészítő takarmány minden esetben ugyanannyi (5 g/kg) extrudáltlenmag-kiegészítés helyett került a kocatápra.

A kísérletben alkalmazott tápok táplálóanyag- és energiatartalmát a 3. táblázat mutatja.

Az egyes kocatápok zsírsavprofilját a kísérlet során a 4. táblázat mutatja be. Az n-6/n-3 arányok a kontroll és a kísérleti csoportok esetében nem mutattak nagy különbséget, mert a takarmányok nagy lenmagtartalma és annak magas alfa-linolénsav (ALA, C18:3n-3) tartalma miatt megnövelte a kocatápok n-3 zsírsav tartalmát.

2.3. A vizsgálatok módszertana

A tejminták szárazanyag-, zsír- és fehérjetartalmát, valamint a kontroll és kísérleti szoptató, illetve vemhes kocatápok kémiai összetételét (szárazanyag, nyersfehérje, nyerszsír, nyersrost és hamu) az Association of Official Analytical Chemists (AOAC 2006) szerint elemeztük.

A takarmány- és tejminták zsírsavösszetételének meghatározásához a takarmány- vagy tejmintát először hidrolizáltuk, majd a lipideket extraháltuk. A zsírsav-metil-észtereket bór-trifluorid/metanol-oldattal állítottuk elő. A zsírsav metil-észtereket -18 °C-on tároltuk a vizsgálatokhoz. A zsírsav-metil-észterek elemzését gázkromatográffal (GCMS-QP2010 SE; Shimadzu, S. A., Kyoto, Japán) végeztük és a metil-észter komponenseket BPX70 kapilláris oszlopon választottuk el (Phenomenex, Torrance, CA, USA).

4. táblázat | A vemhes és szoptató kocatápok zsírsavprofilja

	Kontroll szoptató kocatáp	Kísérleti szoptató kocatáp
ALA (C18:3)	8,83	9,19
EPA (C20:5)	0,25	0,71
DHA (C22:6)	0,34	0,93
n-6 zsírsavak	37,49	35,92
n-3 zsírsavak	9,42	10,87
n-6/n-3 arány	5,02	3,30
	Kontroll bűgató kocatáp	Kísérleti bűgató kocatáp
ALA (C18:3)	14,49	15,32
EPA (C20:5)	0,53	0,91
DHA (C22:6)	0,90	1,01
n-6 zsírsavak	40,84	38,16
n-3 zsírsavak	16,91	17,29
n-6/n-3 arány	2,60	2,25
	Kontroll vemhes kocatáp	Kísérleti vemhes kocatáp
ALA (C18:3)	4,89	3,94
EPA (C20:5)	0,08	0,91
DHA (C22:6)	0,09	0,93
n-6 zsírsavak	50,73	47,43
n-3 zsírsavak	5,06	5,77
n-6/n-3 arány	10,36	8,24

ALA = α-linolénsav; EPA = eikozapentaénsav; DHA = dokozahexaénsav

A kocatejminták aromaprofilját három ismétlésben Alpha MOS Heracles NEO elektronikus orr berendezéssel (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország) rögzítettük. A mérésekhez és az adatok előkezeléséhez az AlphaSoft vezérlő és adatelemző szoftvert használtuk. A mintákról felvett kromatogramokhoz C6-C16 alkánsor retenciók

időin alapuló Kováts-féle retenciós indexet rendeltünk. A kromatogramokon megjelenő csúcsok Kováts-index szerinti helyét detektáltuk, majd kiszámítottuk az egyes csúcsok alatti területet. A csúcsok helyzetét a továbbiakban szenzorként értelmeztük, a Kováts-indexszel azonosítható, az adott illékony anyagot jelző szenzorhoz tartozó szagintenzitás értékét pedig a csúcs alatti terület fejezte ki. Az így képzett, illatprofil leíró sokváltozós adatállományt a továbbiakban főkomponens analízissel (PCA) elemeztük.

2.4. Statisztikai módszerek

Az eredmények statisztikai értékelését Kolmogorov–Smirnov-teszt, Levene-teszt és kétmintás t -póba vagy Mann–Whitney U teszt (SPSS 26.0., IBM, Armonk, NY, USA) segítségével végeztük. A szignifikanciaszintet $p \leq 0,05$ -re állítottuk be. A szignifikáns mértékben eltérő eredményeket a, b betűkkel jelöltük, ahol a két eltérő jelölés különbséget, a két megegyező betű statisztikai azonosságot jelöl.

Az elektronikus orr mérések során a statisztikai értékeléshez AlphaSoft vezérlő és adatelemző szoftvert használtunk.

3. A vizsgálatok eredményei

3.1. A kocák és malacok termelési paraméterei (1. kísérlet)

A kocák természetes mutatóit az 5. táblázat mutatja be. Az eltérő n-6/n-3 arányú kiegészítő takarmányok hatása a későbbi ivarzó kocák számában és ezek arányában jutott kifejezésre. A kontrollcsoportban 25 db olyan állat volt, amely a választást követő 7. nap után ivarzott, míg a kísérleti csoportban 10 (13,66% vs. 6,33%). Az ivarzásig eltelt átlagos idő a kontrollcsoport esetében 5,72 nap, míg a kísérletinél 4,94 nap volt. Bár az eredmények a nagy egyedi variancia miatt statisztikailag nem különböznek, de gyakorlati szempontból a közel 1 nap jelentős különbség.

A telep méretéből eredően a választott malacok adatait csak teremszinten tudtuk rögzíteni. Ezek alapján az átlagos választási alomlétszámban és a választási tömegben nem volt különbség a kontroll és a kísérleti csoport között.

3.2. Az n-3 zsírsavak hatása a kocatej összetételére és zsírsavprofiljára (1. kísérlet)

A kísérlet két ismétlése során összesen 24 db tejmintát értékelésre került sor. A tejminták kémiai vizsgálata alapján a kontroll és kísérleti csoportok tejének táplálóanyag-tartalmára a kiegészítő takarmányok etetésének nem volt hatása (6. táblázat).

5. táblázat | A kocák és malacok természetes mutatói halolaj-kiegészítés esetén

	Kontroll	Kísérleti	p-Érték
Kocák száma (db)	209	176	–
Élve született malacok száma (db)	19,40±3,36	19,38±2,99	0,943
Halva született malacok száma (db)	1,17±1,11	1,53±1,45	–
Mumifikált malacok száma (db)	0,78±0,96	0,59±0,83	0,057
Választott malac/alom (db)	13,42±1,24	13,15±1,51	–
Átlagos választási malactömeg (kg)	6,33	6,33	–
Selejt kocák száma (db)	27 (12,56%)	26 (13,68%)	–
Elhullott kocák száma (db)	3 (2,78%)	2 (1,90%)	–
Termékenyített kocák száma (db)	185 (86,05%)	162 (85,26%)	–
Vemhes kocák száma (db)	183 (98,92%)	158 (97,53%)	–
Későbbi ivarzó kocák száma (db) ¹	25 (13,66%)	10 (6,33%)	–
Az ivarzásig eltelt idő (nap)	5,72±5,14	4,94±3,89	0,121

A következő fialás eredményei

Vemhesség hossza (nap)	117,89±3,44	118,07±1,16	0,531
Élve született malacok száma (db)	19,50±2,91	19,53±3,41	0,926
Halva született malacok száma (db)	1,41±1,37	1,58±1,38	0,277
Mumifikált malacok száma (db)	0,65±1,14	0,76±0,92	0,334

Kontroll = napraforgóolaj-tartalmú kiegészítő takarmány (10 g/kg);
Kísérleti = halolajtartalmú kiegészítő takarmány (10 g/kg)

¹Az ivarzásig több mint 7 nap telt el

6. táblázat | A kontroll és kísérleti tejminták kémiai összetétele

	Kontroll	Kísérleti	p-Érték
Szárazanyag ¹ (% w/w)	18,91±1,01	18,47±1,78	0,57
Fehérje ¹ (% w/w)	5,06±0,18	5,15±0,37	0,12
Zsír ¹ (% w/w)	7,84±0,82	7,49±1,25	0,37
Laktáció átlagos napja	13,92±2,91	12,50±1,57	0,16

Kontroll = napraforgóolaj-tartalmú kiegészítő takarmány (10 g/kg);
Kísérleti = halolajtartalmú kiegészítő takarmány (10 g/kg)

¹Mintavétel előtt az állatok 10 NE oxitocin kezelést kaptak

A kocatejek átlagos zsírsavtartalmát a 7. táblázat mutatja be. A napraforgóolaj- és a halolaj-kiegészítés megváltoztatta a takarmányok zsírsavösszetételét, ami hatással volt a kocatej zsírsavprofiljára is. A napraforgóolajjal történő kiegészítés szignifikánsan növelte az LA (C18:2) ($p < 0,001$) és a PUFA-k mennyiségét ($p < 0,02$) a kont-

rollkocák tejében. Ezzel szemben a halolaj-kiegészítés szignifikánsan növelte az EPA (C20:5), a DPA (C22:5) és a DHA (C22:6) mennyiségét a vizsgált kocatejmin-tákban ($p < 0,001$).

Az n-6/n-3 zsírsavak aránya a tejmintákban hasonlóan alakult a szoptató kocatápokhoz. A kontroll kocatáp 15,08 n-6/n-3 zsírsavaránya 13,42 n-6/n-3 arányt eredményezett a kontrollcsoport tejében, míg a kísérleti kocatáp 7,38 n-6/n-3 zsírsavaránya 6,35-ös arányt a kísérletiében.

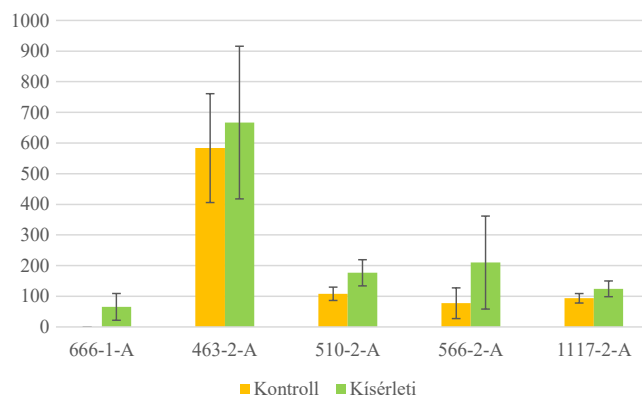
7. táblázat | A kontroll és kísérleti tejminták zsírsavtartalma (mg/ml tej)

Zsírsav	Kontroll	Kísérleti	p-Érték
C18:2 (n-6)	8,43 ^a ± 1,05	6,63 ^b ± 1,05	0,001
C18:3 (n-3)	0,36 ± 0,05	0,36 ± 0,05	0,97
C20:2 (n-6)	0,16 ± 0,04	0,15 ± 0,05	0,64
C20:3 (n-6)	0,09 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,67
C20:5 (n-3)	0,04 ^b ± 0,01	0,17 ^a ± 0,03	0,001
C22:5 (n-3)	0,17 ^b ± 0,03	0,28 ^a ± 0,06	0,001
C22:6 (n-3)	0,09 ^b ± 0,02	0,33 ^a ± 0,06	0,001
Többszörösen telítetlen zsírsavak	9,92 ^a ± 1,26	8,61 ^b ± 1,30	0,02
n-6 zsírsavak	9,24 ^a	7,44 ^b	0,001
n-3 zsírsavak	0,69 ^b	1,17 ^a	0,001
n-6/n-3 arány	13,42	6,35	–

Kontroll = napraforgóolaj-tartalmú kiegészítő takarmány (10 g/kg);
Kísérleti = halolajtartalmú kiegészítő takarmány (10 g/kg)

^{a,b} Azonos sorban lévő különböző jelölések szignifikáns különbséget mutatnak $p < 0,05$ szignifikanciaszinten

A kocatejminták e-orr mérései során kapott illatmintázatok elemzésekor kiválogattuk azokat a Kováts-indexeket, amelyek a két csoport illata közötti különbségeket leginkább felelősek. Az 1. ábra mutatja a karakterisztikus csúcsoknál mért intenzitásértékek csoportátlagait és szóráseit. Az AroChemBase adatbázis alapján az 1-A oszlo-

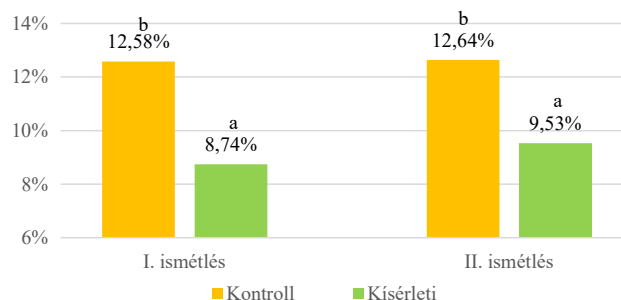


1. ábra | A két kromatográfias oszlopon (1-A: MXT-5; 2-A: MXT-1701) rögzített illatmintázatok karakterisztikus csúcsai, a csoportátlagok és a szórásek feltüntetésével

pon mért 666 Kováts-indexhez a 3-metil-butanolt, a 2-A oszlopon mért 463, 510, 566 és 1117 Kováts-indexekhez acetaldehidet, tejsavat, dimetil-szulfidot és acetilpirazint azonosítottunk.

3.3. A kocák és malacaik termelési paramétereit (2. kísérlet)

A kontroll- és a kísérleti csoportokban tapasztalható szopós-kori elhullások mértékét az egyes ismétlések során az 2. ábra mutatja be.

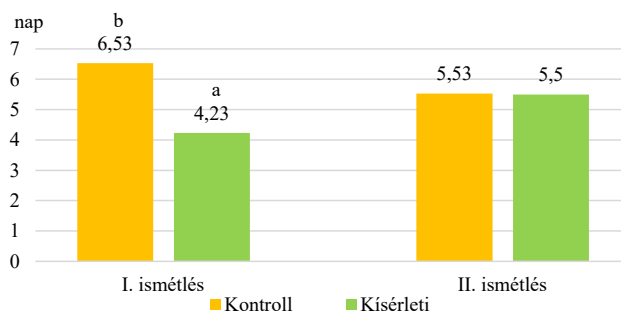


2. ábra | A szopós-kori elhullások alakulása a kísérlet során
^{a,b} jelölések szignifikáns különbséget mutatnak $p < 0,05$ szignifikanciaszint mellett

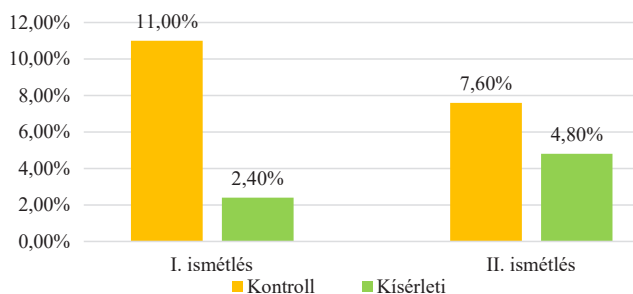
A szopós-kori elhullás mindkét ismétlésben a kísérleti csoportban kisebb volt (1. ism.: 12,58% vs. 8,74%, $p \leq 0,00$; 2. ism.: 12,64% vs. 9,53%, $p \leq 0,04$). Az eredmények hasonlóak voltak a két ismétlés során, ami valószínűleg annak köszönhető, hogy a kísérlet alatt mind a kontroll-, mind a kísérleti állatok azonos fiasztató termekben voltak elhelyezve, így környezeti hatások nem befolyásolták az eredményeket.

A választást követően minden koca esetében rögzítettem az ivarzásig eltelt napok számát, és kiszámítottam a 7 napnál később ivarzó állatok arányát (3. és 4. ábra).

A 3. ábra alapján a kísérleti kocák az első ismétlésben a választás után hamarabb ivarzottak, mint a kontrollállatok (1. ism.: 6,53 vs. 4,23 nap, $p \leq 0,019$). A második ismétlésben ugyanakkor nem volt különbség a két cso-



3. ábra | A választás és az ivarzás között eltelt idő alakulása a kísérlet során (nap)
^{a,b} jelölések szignifikáns különbséget mutatnak $p < 0,05$ szignifikanciaszint mellett



4. ábra | A később ivarzó kocák aránya az egyes ismétlések során

port között (2. ism.: 5,53 vs. 5,50 nap, $p \leq 0,915$). A később ivarzó állatok aránya (4. ábra) mindkét ismétlésben a kontrollcsoportban volt magasabb (1. ism.: 11,0% vs. 2,4%; 2. ism.: 7,6% vs. 4,8%).

A termékenyítések után 40-45 nappal ultrahangos vemhességvizsgálatot végeztek. Ezek és a későbbi fialás eredményeit az 5. ábra mutatja be. Az első ismétlésben 10,1%-kal, míg a másodikban 8,5%-kal több koca vemhesült a kísérleti csoportban, mint a kontrollban (1. ism.: 80,3% vs. 90,4%; 2. ism.: 72,1% vs. 80,6%). A második ismétlés gyengébb eredményeinek hátterében valószínűleg a nyári nagy meleg (hőstressz) negatív hatásai állnak.

A kocák fialási arányai alapján látható, hogy a kísérleti állatok mindkét ismétlés során megtartották előnyüket a kontrollkocákkal szemben (1. ism.: 75,0% vs. 87,7%; 2. ism.: 67,7% vs. 73,6%).

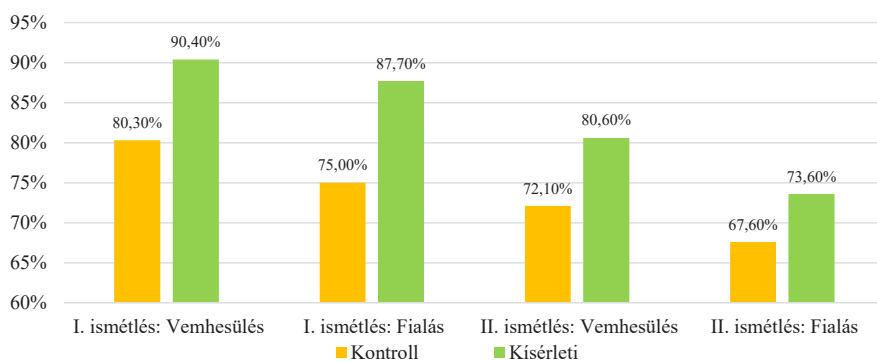
3.4. A következő fialás eredményei (2. kísérlet)

A kontroll- és a kísérleti kocák következő fialási eredményeit a 6. ábra mutatja. Az összehasonlíthatóság kedvéért a kísérlet kezdetén rögzített élve született malacok számát hasonlítottam össze a következő fialáskor született malacok számával, mindkét ismétlésben. Az első ismétlésben mindkét csoport élve született malacszáma nőtt, de míg a kontrollé 0,16 malaccal, addig a kísérletié 0,59-cel (kontroll: 13,01 → 13,17; kísérleti: 14,20 → 14,79). A második ismétlésben a kontrollcsoport malacszáma 1,12-vel csökkent, a kísérleti pedig 0,23-mal nőtt (kontroll: 13,57 → 12,45; kísérleti: 13,40 → 13,63).

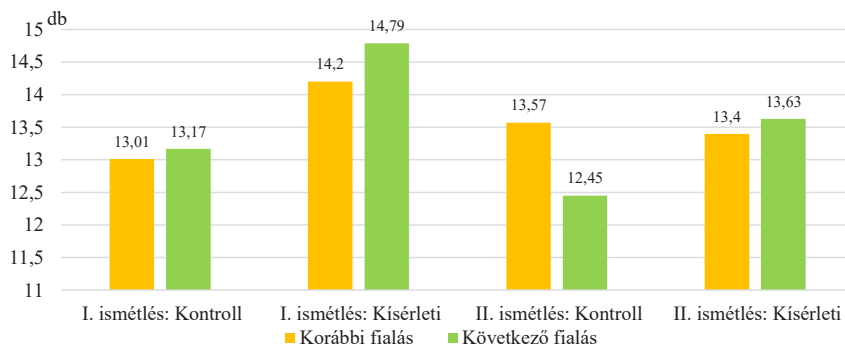
4. A vizsgálati eredmények megvitatása

4.1. Szaporodásbiológiai eredmények

Az eredmények alapján, az n-3 zsírsav kiegészítés mindkét kísérlet során javította az ivarzásig eltelt időt és csökkentette a későn ivarzó kocák számát, valamint a 2. kísérletben növelte a vemhesült és fialt kocák számát. Ennek hátterében az állhat, hogy az n-3 zsírsavak pozitív hatást gyakorolnak a tüszők növekedésére ésérésére, ami korábbi ivarzást és több, érettebb tüsző ovulációját eredményezi. Ez ökonómiai szempontból azt jelenti, hogy a kocák kevesebb időt töltenek „üresen” és nagyobb



5. ábra | A kontroll és a kísérleti kocák vemhességvizsgálatának eredményei az egyes ismétlések során



6. ábra | A kontroll és a kísérleti kocák korábbi és következő fialása során született malacok száma

arányban fialnak, tehát gazdaságosabban termeltek, mint kontroll társaik.

Szakirodalmi források a szaporodásbiológiára gyakorolt pozitív hatásokat egyértelműen az n-3 zsírsavak (ALA, EPA, DHA) etetéséhez kötik. *Zeron-Sklan-Arav (2002)* kimutatták, hogy az n-3 zsírsavak adagolása növeli a petefészekben található tüszők számát és minőségét. *Leroy et al. (2008)* kutatásai alapján az n-3 zsírsavak etetése csökkenti a gyulladást előidéző prosztaglandinok képződését az endometriumban, ami növeli a sárgatestek (CP) életképességét és ezáltal az embriók életben maradási esélyeit. Ennek a hatásnak a hátterében az áll, hogy az EPA verseng az ARA-val az ARA – prosztaglandin átalakulásért felelős prosztaglandin H szintetáz enzim kötőhelyeiért, a DHA pedig közvetlenül gátolja a prosztaglandin H szintetáz aktivitását (*Vedin et al. 2010; Roszkos-Tóth-Mézes 2020*).

Az n-3 zsírsavak etetése a 2. kísérlet során jelentősen javította a kocák következő fialása során született malacainak számát a kontrollkocákhoz képest. *Smits et al. (2011)* szerint ennek oka, hogy a következő vehem kialakulásához szükséges tüszők már az előző vemhesség, illetve laktáció alatt elkezdene fejlődni. Az n-3 zsírsavak a tüszők fejlődésére és növekedésére gyakorolt pozitív hatásai révén több, nagyobb méretű tüsző ovulál, és így több petesejt termékenyülhet (*Rosero et al. 2016*). Az n-3 zsírsavak sárgatest működésére gyakorolt pozitív hatása emellett elősegíti a vemhesség fennmaradását, és csökkenti a sertésekben gyakran előforduló korai embrióvesztés mértékét (*Leroy et al. 2008*).

4.2. Az n-3 zsírsavak hatása a kocatej összetételére, zsírsav-, illetve illatprofiljára, valamint a malacok szopóskori elhullására

Az első kísérletben a halolajetetés hatására a kísérleti kocák tejében a hosszú szénláncú többszörösen telítetlen zsírsavak mennyisége szignifikánsan csökkent a kontrollhoz képest, aminek hátterében a halolaj alacsony LA-tartalma áll. Ezzel szemben a hosszú szénláncú n-3 zsírsavak (EPA, DPA és DHA) szintje szignifikánsan nőtt a kísérleti csoport tejében. Hasonló eredményeket kapott *Lauridsen-Jensen (2007)*, akik ugyanezeket az olajforrásokat használták. Eredményeim *Lavery et al. (2019)*, valamint *Luo et al. (2019)* kutatásaival is összhangban vannak, akik szója- és halolajjal etettek tenyészkocákat. A halolajat tartalmazó takarmányozás mindkét esetben növelte az EPA, DPA és DHA arányát ($p < 0,001$), és csökkentette az LA arányát ($p < 0,001$) a szójaolajhoz képest.

Az irodalmi adatoknak megfelelően szoros kapcsolatot találtam a kocatakmányok és a tej zsírsavösszetétele között. *Lauridsen-Danielsen (2004)* többek között a napraforgóolaj és a halolaj hatásait vizsgálták, és azt találták, hogy napraforgóolaj-kiegészítés 12,4-es, míg a halolaj 1,95 n-6/n-3 arányt eredményezett. *Tao et al. (2012)*

szintén szoros korrelációt találtak a takarmányok és a kocatej n-6/n-3 aránya között. Az etetett kocatápok n-6/n-3 zsírsav arányának megfelelően (3, 9, 13), a tej n-6/n-3 aránya is javult (3,21, 10,33, 11,48).

A kontroll és a kísérleti tejmintákban az e-orr mérésekkel azonosított molekulák a tejben lejátszódó bomlási folyamatok eredményeként jöttek létre. *Kang et al. (2014)* a 3-metil-butanolt és acetaldehidet kellemetlen, a tej romlását jelző illatanyagként írták le. Az acetaldehid a többszörösen telítetlen zsírsavak peroxidációja során keletkező malondialdehid metabolizációjának terméke (*Siu-Draper 1982*). A tejsav a rövid, de nem steril tárolás során megindult erjedési folyamat eredménye lehet (*Liu et al. 2016*). Korábbi vizsgálatainkban a tiszta halolaj és napraforgóolaj e-orr illatprofilja jelentős különbséget mutatott a fent is említett 666-1-A, 566-2-A, 1117-2-A Kovács-indexeknél. Az a tény, hogy a kísérleti kocatej-minták kontrollmintáktól való különbözőségét a tiszta halolajra is jellemző illatok okozzák, azt valószínűsíti, hogy a takarmány illatanyagai a kocák tejmirigyébe jut, kiválasztódik és megjelenik a kocatejben.

A 2. kísérlet mindkét ismétlésében szignifikánsan csökkent a kísérleti malacok szopóskori elhullásának mértéke. Ennek az lehet a magyarázata, hogy a kocatejben lévő nagyobb mennyiségű n-3 zsírsavak jobb n-3 zsírsavellátást biztosítanak az utódaik számára, és ezek a zsírsavak a malacok emésztőrendszeréből felszívódva (*Sampels et al. 2011*) az immunrendszer működését támogatják, ami pozitív hatású a malacok egészségi állapotára (*Luo et al. 2013*).

Köszönetnyilvánítás

A cikk az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



Irodalomjegyzék

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (2006) Official methods of analysis, 18th ed. Washington, DC: AOAC
- Hightshoe, R. B., Cochran, R. C., Corah, L. R., Kiracofe, G. H., Harmon, D. L., & Perry, R. C. (1991) Effects of calcium soaps of fatty acids on postpartum reproductive function in beef cows. *Journal of Animal Science*, Vol. 69. Issue 10. pp. 4097–4103. <https://doi.org/10.2527/1991.69104097x>
- Jump, D. B. (2002) Dietary polyunsaturated fatty acids and regulation of gene transcription. *Current Opinion in Lipidology*, Vol. 13.

- Issue 2. pp. 155–164. <https://doi.org/10.1097/00041433-200204000-00007>
- Kang, N. K., Jun, T. S., Yang, Y. S., & Kim, Y. S. (2014) Analysis of volatile flavor compounds in milk using electronic nose system. *Journal of Sensor Science and Technology*, Vol. 23. Issue 5. pp. 320–325. <https://doi.org/10.5369/JSST.2014.23.5.320>
- Kurlak, L. O., & Stephenson, T. J. (1999) Plausible explanations for effects of long chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFA) on neonates. *Archives of Disease in Childhood. Fetal and Neonatal Edition*, Vol. 80. Issue 2. pp. 148–154. <https://doi.org/10.1136/fn.80.2.f148>
- Lauridsen, C., & Danielsen, V. (2004) Lactational dietary fat levels and sources influence milk composition and performance of sows and their progeny. *Livestock Production Science*, Vol. 91. Issues 1–2. pp. 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.07.014>
- Lauridsen, C., & Jensen, S. K. (2007) Lipid composition of lactational diets influences the fatty acid profile of the progeny before and after suckling. *Animal*, Vol. 1. Issue 7. pp. 952–962. <https://doi.org/10.1017/S175173110700033X>
- Lavery, A., Lawlor, P. G., Miller, H. M., & Magowan, E. (2019). The effect of dietary oil type and energy intake in lactating sows on the fatty acid profile of colostrum and milk, and piglet growth to weaning. *Animals (Basel)*, Vol. 9. No. 12. p. 1092. <https://doi.org/10.3390/ani9121092>
- Leroy, J. L., Van Soom, A., Opsomer, G., Goovaerts, I. G., & Bols, P. E. (2008) Reduced fertility in high-yielding dairy cows: Are the oocyte and embryo in danger? Part II. Reproduction in Domestic Animals, Vol. 43. Issue 5. pp. 623–632. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00961.x>
- Liu, W., Yu, J., Sun, Z., Song, Y., Wang, X., Wang, H. ... Heping, Z. (2016) Relationships between functional genes in *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* isolates and phenotypic characteristics associated with fermentation time and flavor production in yogurt elucidated using multilocus sequence typing. *Journal of Dairy Science*, Vol. 99. Issue 1. pp. 89–103. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10209>
- Luo, J., Huang, F., Xiao, C., Fang, Z., Peng, J., & Jiang, S. (2013) Responses of growth performance and proinflammatory cytokines expression to fish oil supplementation in lactation sows' and/or weaned piglets' diets. *BioMed Research International*, Vol. 2013. AID. 905918. <https://doi.org/10.1155/2013/905918>
- Luo, W., Xu, X., Luo, Z., Yao, J., Zhang, J., Xu, W. ... Xu, J. (2019) Effect of fish oil supplementation in sow diet during late gestation and lactation period on litter characteristics, milk composition and fatty acid profile of sows and their offspring. *International Journal of Animal Science*, Vol. 19. Issue 1. pp. 8–17. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1685917>
- Noblet, J., & Etienne, M. (1989) Estimation of sow milk nutrient output. *Journal of Animal Science*, Vol. 67. Issue 12. pp. 3352–3359. <https://doi.org/10.2527/jas1989.67123352x>
- Price, P. T., Nelson, C. M., & Clarke, S. D. (2000) Omega-3 polyunsaturated fatty acid regulation of gene expression. *Current Opinion in Lipidology*, Vol. 11. Issue 1. pp. 3–7. <https://doi.org/10.1097/00041433-200002000-00002>
- Rosero, D. S., Boyd, D., McCulley, M., Odle, J., & Heugten, E. (2016) Essential fatty acid supplementation during lactation is required to maximize the subsequent reproductive performance of the modern sow. *Animal Reproduction Science*, Vol. 168. pp. 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.03.010>
- Roszkos R., George B., Tóth T., Fébel H., & Mézes M. (2021) Effect of n-3 polyunsaturated fatty acid feeding on the fatty acid profile and odor of milk in danbred sows. *Journal of Applied Animal Research*, Vol. 49. Issue 1. pp. 447–459. <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.2005071>
- Roszkos R., Tóth T., & Mézes M. (2020) Review: practical use of n-3 fatty acids to improve reproduction parameters in the context of modern sow nutrition. *Animals*, Vol. 10. No. 7. pp. 1141. <https://doi.org/10.3390/ani10071141>
- Sampels, S., Pickova, J., Högberg, A., & Neil, M. (2011) Fatty acid transfer from sow to piglet differs for different polyunsaturated fatty acids (PUFA). *Physiological Research*, Vol. 60. pp. 113–124. <https://doi.org/10.33549/physiolres.932067>
- Siu, G. M., & Draper, H. H. (1982) Metabolism of malonaldehyde in vivo and in vitro. *Lipids*, Vol. 17. Issue 5. pp. 349–355. <https://doi.org/10.1007/BF02535193>
- Smits, R. J., Luxford, B. G., Mitchell, M., & Nottle, M. B. (2011) Sow litter size is increased in the subsequent parity when lactating sows are fed diets containing n-3 fatty acids from fish oil. *Journal of Animal Science*, Vol. 89. Issue 9. pp. 2731–2738. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3593>
- Stillwell, W., & Wassall, S. R. (2003) Docosahexaenoic acid: Membrane properties of an unique fatty acid. *Chemistry and Physics of Lipids*, Vol. 126. Issue 1. pp. 1–27. [https://doi.org/10.1016/S0009-3084\(03\)00101-4](https://doi.org/10.1016/S0009-3084(03)00101-4)
- Vedin, I., Cederholm, T., Freund-Levi, Y., Basun, H., Hjorth, E., Irving, G. F. ... Palmblad, J. (2010) Reduced prostaglandin F_{2α} alpha release from blood mononuclear leukocytes after oral supplementation of ω3 fatty acids: The OmegAD study. *Journal of Lipid Research*, Vol. 51. Issue 5. pp. 1179–1185. <https://doi.org/10.1194/jlr.M002667>
- Wathes, D. C., Abayasekara, D. R. E., & Aitken, R. J. (2007) Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction. *Biology of Reproduction*, Vol. 77. Issue 2. pp. 190–201. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.060558>
- Yao, W., Li, J., Wang, J. J., Zhou, W., Wang, Q., Zhu, R. ... Thacker, P. (2012) Effects of dietary ratio of n-6 to n-3 polyunsaturated fatty acids on immunoglobulins, cytokines, fatty acid composition, and performance of lactating sows and suckling piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, Vol. 3. ANo. 43. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-3-43>
- Zeron, Y., Sklan, D., & Arav, A. (2002) Effect of polyunsaturated fatty acid supplementation on biophysical parameters and chilling sensitivity of ewe oocytes. *Molecular Reproduction and Development*, Vol. 61. Issue 2. pp. 271–278. <https://doi.org/10.1002/mrd.1156>