



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**AZ N-3 ZSÍRSAVAK HATÁSAINAK VIZSGÁLATA NAGY
TELJESÍTMÉNYŰ KOCÁK SZAPORODÁSBIOLOGIAI
PARAMÉTEREIRE**

Készítette:
ROSZKOS RÓBERT

GÖDÖLLŐ
2023

A doktori iskola

megnevezése: Állatbiotechnológiai és Állattudományi Doktori Iskola

tudományága: Állattenyésztési tudományok

vezetője: Dr. Mézes Miklós
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja
MATE
Élettani és Takarmányozástani Intézet, Takarmánybiztonsági Tanszék

Témavezető(k): Dr. Mézes Miklós
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja
MATE
Élettani és Takarmányozástani Intézet, Takarmánybiztonsági Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető(k) jóváhagyása

Tartalomjegyzék

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	5
ÁBRAJEGYZÉK	8
TÁBLÁZATJEGYZÉK	10
1. BEVEZETÉS	11
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	13
2.1. A ZSÍRSAVAK OSZTÁLYOZÁSA ÉS METABOLIZMUSA	13
2.2. A HOSSZÚ SZÉNLANCÚ TÖBBSZÖRÖSEN TELÍTETLEN ZSÍRSAVAK	14
2.2.1. OSZTÁLYOZÁS	14
2.2.2. BIOLÓGIAI SZEREPÜK ÉS ÁTALAKULÁSUK HOSSZABB SZÉNLANCÚ ZSÍRSAVAKKÁ	15
2.3. A TÖBBSZÖRÖSEN TELÍTETLEN ZSÍRSAVAK SZEREPE AZ OXIDATÍV FOLYAMATOKBAN	16
2.3.1. A LIPIDEK PEROXIDÁCIÓJA	16
2.3.2. A BIOLÓGIAI ANTIOXIDÁNS RENDSZER	18
2.4. A TÖBBSZÖRÖSEN TELÍTETLEN ZSÍRSAVAK SZEREPE A SZAPORODÁSBIOLÓGIÁBAN	19
2.4.1. A KOCA IVARI CIKLUSA	19
2.4.2. A TÖBBSZÖRÖSEN TELÍTETLEN ZSÍRSAVAK SZEREPE A KOCA SZAPORODÁSÁBAN	21
2.5. TÖBBSZÖRÖSEN TELÍTETLEN ZSÍRSAVAK A TENYÉSZKOCÁK TAKARMÁNYOZÁSÁBAN	24
2.5.1. A KOCÁK TELJESÍTMÉNYÉRE GYAKOROLT HATÁSOK	24
2.5.2. A TENYÉSZKOCÁK ANTIOXIDÁNS ÉS HORMON RENDSZERÉRE GYAKOROLT HATÁSOK.....	26
2.5.3. AZ UTÓDOKRA GYAKOROLT HATÁSOK: FEJLŐDÉS ÉS MALACELHULLÁS A SZOPTATÁS ALATT	27
2.6. AZ N-3 ZSÍRSAVAK FORRÁSAI ÉS MENNYISÉGÜK A SERTÉSTAKARMÁNYOKBAN	32
2.6.1. NÖVÉNYI ZSÍRSAVFORRÁSOK.....	32
2.6.2. ÁLLATI ZSÍRSAVFORRÁSOK	33
2.6.3. EGYÉB N-3 ZSÍRSAVFORRÁSOK	33
2.6.4. AZ N-3 ZSÍRSAVAK ADAGOLÁSA	33
2.7. A KOCA TEJÉNEK ZSÍRSAVPROFILJA	36
2.8. AZ N-3 ZSÍRSAVAK KOCATEJ ÉRZÉKSZERV TULAJDONSÁGAIRA GYAKOROLT HATÁSAINAK VIZSGÁLATI LEHETŐSÉGEI ELEKTRONIKUS ORR MÓDSZERREL	37
3. SAJÁT VIZSGÁLATOK	39
3.1. A KÍSÉRLETEK CÉLKITŰZÉSEI	39
3.2. AZ ELVÉGZETT KÍSÉRLETEK	40
3.3. ANYAG ÉS MÓDSZER	42
3.3.1. AZ ELSŐ KÍSÉRLET (KOCÁK ÉS MALACAIK TERMELÉSI PARAMÉTEREI, A KOCATEJ ZSÍRSAV-ÖSSZETÉTELE ÉS ILLATPROFILJA, A KOCÁK ANTIOXIDÁNS STÁTUSZA ÉS HORMONTERMELÉSE).....	42
3.3.2. A MÁSODIK KÍSÉRLET (KOCÁK ÉS MALACAIK TERMELÉSI PARAMÉTEREI, TAKARMÁNYOK E-ORR VIZSGÁLATA, PETEFÉSZEKVIZSGÁLAT)	46

3.3.3. A HARMADIK KÍSÉRLET (KOCÁK ÉS MALACAIK TERMELÉSI PARAMÉTEREI, TAKARMÁNYOK E-ORR VIZSGÁLATA)	49
3.3.4. KÉMIAI ÉS EGYÉB ANALÍZISEK	52
3.3.5. ELEKTRONIKUS ORR MÉRÉSEK	53
3.3.6. STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉS.....	55
3.4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSŰK	57
3.4.1. A KOCÁK ÉS MALACAIK TERMELÉSI MUTATÓI	57
3.4.2. A KOCATEJ TÁPLÁLÓANYAG-TARTALMA ÉS KÉMIAI ÖSSZETÉTELE	64
3.4.3. A KOCATEJ ZSÍRSAVÖSSZETÉTELE ÉS AZ N-6/N-3 ZSÍRSAVAK ARÁNYA.....	65
3.4.4. A KOCATEJ ILLATPROFIL-MEGHATÁROZÁSA ELEKTRONIKUS ORRAL	68
3.4.5. A KÜLÖNBÖZŐ TAKARMÁNYMINTÁK ILLATPROFIL-MEGHATÁROZÁSA E-ORRAL.....	74
3.4.6. LIPIDPEROXIDÁCIÓ ÉS AZ ANTIOXIDÁNS RENDSZER.....	81
3.4.7. HORMONVIZSGÁLATOK	85
3.4.8. PETEFÉSZÉKVIZSGÁLAT.....	88
4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	92
5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	94
6. ÖSSZEFOGLALÁS	95
7. SUMMARY	96
8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	97
9. FELHASZNÁLT IRODALOM	98
10. A DISSZERTÁCIÓ TÉMÁJÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE	109
10.1. KÜLFÖLDI TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK	109
10.2. HAZAI TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK	109

Rövidítések jegyzéke

6-keto-PGF 1α = 6-keto-prostaglandin F 1α
Acetil-CoA = Acetil-koenzim-A
ADFI = Átlagos napi takarmányfelvétel
ALA = α -linolénsav
AOAC = Association of Official Analytical Chemists
ARA = Arachidonsav
ARE = Antioxidáns válaszelem
ATP = Adenozin-trifoszfát
BSA = szarvasmarha szérumalbumin
CA = Corpus Albicans
CH = Corpus Haemorrhagicum
CL = Corpus luteum
CLA = konjugált linolsav
CTX = ciklofoszfamid
DHA = Dokozahexaénsav
DNS = dezoxiribonukleinsav
DPA = Dokozapentaénsav
E2 = 17 β -ösztradiol
EDTA = etilén-diamin-tetraacetát
EFA = esszenciális zsírsav
ELISA = Enzimhez kötött ellenanyag vizsgálat
EN = elektronikus-orr
EPA = Eikozapenténsav
ER = endoplazmatikus retikulum
FID = lángionizációs detektor
FSH = Follikulus stimuláló hormon
GC = gázkromatográf
GCMS = gázkromatográf alapú tömegspektroszkópia
GLM = általános lineáris modell
GnRF = Gonadotropin releasing factor
GSH = Redukált glutation
GPx = Glutation-peroxidáz
HO = Halolaj

IFN- τ = Interferon-tau
IM = Intramuszkuláris
IMS32 = immortalizált egér Schwann-sejtek
IPEC-J2 = sertés J2-bélepitél sejtvonala
IVM = In vitro maturáció
Keap1 = Kelch-like ECH-associated protein 1
KPa = Kilopascal
LA = Linolsav
LCFA = hosszú szénláncú zsírsav
LC PUFAs = hosszú szénláncú többszörösen telítetlen zsírsav
LDA = lineáris diszkriminancia analízis
LH = Luteinizáló hormon
LPL = lipoprotein lipáz
LT = Leukotrién
MII = meózis második fázisa
Malonil-CoA = Malonil-koenzim-A
MCFA = közepesen hosszú szénláncú zsírsav
MDA = malondialdehid
MOS = metal oxide semiconductor
mRNS = messenger ribonukleinsav
MUFA = egyszeresen telítetlen zsírsav
NE = Nemzetközi egység
NEFA = Szabad zsírsavak
NO = Napraforgóolaj
Nrf2 = Nuclear factor E2-related factor 2
ns = nem szignifikáns különbség
P4 = progeszteron
PA = partenogenezis
PBMC = perifériás vér mononukleáris sejtje
PCA = főkomponens analízis
PFF = sertés tüszőfolyadék
PG = Prostaglandin
PGE2 = Prostaglandin E2
PGF2 α = Prostaglandin F2 α
PHS = Prostaglandin H szintetáz

PUFA = többszörösen telítetlen zsírsav

RI = Kováts-féle retenciós index

RT-PCR = valós idejű reverz transzkripció polimeráz láncreakció

SCFA = rövid szénláncú zsírsav

SCNT = szomatikus sejtek sejtmagjának átültetése

SEM = szórás

SFA = telített zsírsav

SOD = szuperoxid-diszmutáz

TRF1 = telomeric-repeat binding factor 1

TX = Tromboxán

VLCFA = nagyon hosszú szénláncú zsírsav

VLDL = nagyon alacsony sűrűségű lipoprotein

WOI = Választás és ivarzás között eltelt idő

Ábrajegyzék

1. ábra. A többszörösen telítetlen zsírsavak (PUFA) szerepe a szaporodásbiológiában.
2. ábra. A mérésekhez használt Alpha MOS Heracles NEO elektronikus orr.
3. ábra. Az első kísérlet tejmintáinak (CON1: kontroll, 1. mintavétel, zöld rombusz; CON2: kontroll, 2. mintavétel, rózsaszín csillag; EXP1: kísérleti, 1. mintavétel, kék négyzet; EXP2: kísérleti, 2. mintavétel, piros háromszög) PCA score ábrája az összes szenzor által leírt illatprofil alapján.
4. ábra. Lineáris diszkriminancia analízis (LDA) eredmény az első kísérletben gyűjtött kontroll (CON, kék négyzet) és a kísérleti (EXP, piros háromszög) tejminták megkülönböztetésére az összes érzékelő által leírt aromaprofilok alapján.
5. ábra. Az első kísérletből származó kontroll (kék) és kísérleti (piros) tejminták elektronikus orr adatainak pókhálódiagramja az öt kiválasztott szenzor által meghatározott síkon; a körcikkely: szenzor (retenciós index és oszloptípus), sugár: intenzitás érték (a kromatogram csúcs alatti terület a megfelelő retenciós indexnél).
6. ábra. Öt kiválasztott szenzor adataira épített PCA bi-plot ábrája, amely az első kísérlet tejmintáinak loading vektorait és score értékeit mutatja (CON1: kontroll, 1. mintavétel, kék négyzet; CON2: kontroll, 2. mintavétel, piros háromszög; EXP1: kísérleti, 1. mintavétel, zöld gyémánt; EXP2: kísérleti, 2. mintavétel, rózsaszín csillag) a (a) PC1-PC2 és (b) PC2-PC3 síkban.
7. ábra. Öt kiválasztott szenzor adataira épített LDA bi-plot ábrája, amely az első kísérletben gyűjtött kontroll (CON, kék négyzet) és a kísérleti (EXP, piros háromszög) tejminták megkülönböztetését és az öt szenzor modellépítésben játszott szerepét mutatja.
8. ábra. A napraforgóolaj (a, c) és halolaj (b, d) MXT-5 (a, b) és MXT-1701 (c, d) GC oszlopokkal rögzített kromatogramja az első kísérlet tejmintáiban megjelenő halolajra jellemző csúcsok (retenciós index 666 az 1-A oszlopon, 566 és 1117 a 2-A oszlopon, a hozzárendeléshez lásd a 13. táblázatot) megjelölésével (piros körök).
9. ábra. A második kísérletben gyűjtött kísérleti kiegészítő takarmány két párhuzamos mintájának 2-2 ismétlésben mért illatprofilja.
10. ábra. A második kísérlet kontroll (piros) és kísérleti (kék) kiegészítő takarmányainak illatmintázata.
11. ábra. A második kísérlet kontroll és kísérleti kiegészítő takarmányainak PCA elemzése.
12. ábra. A második kísérletben készített kontroll és kísérleti kocatápok PCA elemzése.

13. ábra. A harmadik kísérletben használt aromatizált és aroma nélküli kiegészítő takarmányok PCA elemzése.
14. ábra. A harmadik kísérlet első ismétlése során etetett kísérleti kocatápok (szoptató, búgató, vemhes) PCA elemzése.
15. ábra. A harmadik kísérlet második ismétlése során etetett kísérleti kocatápok (szoptató, búgató, vemhes) PCA elemzése.
16. ábra. A harmadik kísérlet első és második ismétlése során etetett kontroll kocatápok PCA elemzése.
17. ábra. A harmadik kísérlet első ismétlésében etetett kontroll és kísérleti kocatápok PCA diagramja.
18. ábra. A harmadik kísérlet második ismétlésében etetett kísérleti és kontroll kocatápok PCA diagramja.
19. ábra. A 2790 fülszámú koca petefészkei.
20. ábra. A 2790 fülszámú koca petefészkei.
21. ábra. Az 1022 fülszámú koca petefészkei.
22. ábra. Az 1022 fülszámú koca petefészkei.
23. ábra. Az 1035 fülszámú koca petefészkei.
24. ábra. Az 1035 fülszámú koca petefészkei.
25. ábra. Az 1005 fülszámú koca petefészkei.
26. ábra. Az 1005 fülszámú koca petefészkei.
27. ábra. Az 1035 (alul) és az 1005 (föül) fülszámú kocák petefészkei és az azokon található képletek.
28. ábra. Az 1035 (alul) és az 1005 (föül) fülszámú kocák petefészkei és az azokon található képletek.

Táblázatjegyzék

1. táblázat. Az állati szervezetben előforduló egyes zsírsavak szerkezete és elnevezésük.
2. táblázat. Az n-3 zsírsavak tenyészkocák és malacaik teljesítményére gyakorolt hatásai.
3. táblázat. Az állati takarmányozásban alkalmazható többszörösen telítetlen zsírsavforrások.
4. táblázat. Különböző fajtájú kocák tejének zsírsavösszetétele.
5. táblázat. Az első kísérlet kocatakarmányainak összetétele és számított táplálóanyag-tartalma.
6. táblázat. Az első kísérletben alkalmazott kiegészítő takarmányok táplálóanyag-tartalma és zsírsavprofilja.
7. táblázat. Az első kísérlet kocatakarmányainak zsírsavtartalma.
8. táblázat. A második kísérlet kocatakarmányainak összetétele és mért táplálóanyag-tartalma.
9. táblázat. A második kísérlet szoptató koca takarmányainak fontosabb zsírsavcsoportjai.
10. táblázat. A második kísérletben résztvevő kocák adatai és előéletük.
11. táblázat. A második kísérlet petefészekvizsgálatában résztvevő kocák fialási előélete.
12. táblázat. A harmadik kísérlet kocatápjainak összetétele és mért táplálóanyag-tartalma.
13. táblázat. A harmadik kísérlet kocatápjainak zsírsavprofilja.
14. táblázat. Az első kísérlet kocáinak és malacainak termelési mutatói.
15. táblázat. A második kísérlet kocáinak és malacainak termelési mutatói.
16. táblázat. A halolaj hatása a kísérleti kocák és malacaik teljesítményére a harmadik kísérletben.
17. táblázat. A kocák szaporodásbiológiai eredményei a harmadik kísérletben.
18. táblázat. A következő fialás eredményei a harmadik kísérlet során.
19. táblázat. Az első kísérlet tejmintáinak mért táplálóanyag-tartalma.
20. táblázat. Az első kísérlet tejmintáinak zsírsavösszetétele.
21. táblázat. Az első kísérlet tejmintáiban azonosított vegyületek és a hozzájuk tartozó retenciós indexek jellemzése.
22. táblázat. Az első kísérlet vérmintáiban mért antioxidáns és lipidperoxidációs markerek az egyes termelési időszakokban.
23. táblázat. Az első kísérlet különböző termelési időszakaiban tapasztalt hormonszintek.
24. táblázat. A második kísérlet petefészekvizsgálatainak eredményei.

1. BEVEZETÉS

A nagyüzemi sertésenyésztés jelentősen átalakult az elmúlt évtizedekben. Modern, ún. „szuperszaporá” fajták terjedtek el szerte a világban. A nagy alomlétszám mellett, az ilyen fajták malacai nagyobb növekedési eréllyel, hízósertései jobb hizlalási tulajdonságokkal rendelkeznek. A jobb szaporasági mutatókra irányuló genetikai szelekció következtében, a megnőtt alomlétszám egyben nagyobb halvaszületési aránnyal és kisebb, valamint inhomogén születési tömeggel jár együtt, ami a megnőtt számú, gyenge életképességű malac miatt magas választás előtti elhullást idéz elő (Prunier és Heinonen, 2010). A dán sertésenyésztő egyesület adatai szerint a DanBred lapály és DanBred Yorkshire (nagyfehér) fajták élő malacainak száma a fialást követő ötödik napon, 2019-ben elérte a 13,4-et, amely azóta folyamatosan növekszik. Ezzel párhuzamosan azonban a fialás utáni ötödik napig történő elhullás mértéke 15% (DanBred tenyésztési program, 2020).

A választás előtti magas mortalitás hátterében főként a nagy alomlétszám áll, ami együtt jár az újszülött malacok alacsony egyedi tömegével. A kis testtömegű malacok kevésbé fejlettek és alacsony vitalitásúak, így nagyobb valószínűséggel pusztulnak el a szoptatás első időszakában. A fialás utáni első öt nap kritikus, a legtöbb malac ebben az időszakban hullik el.

A takarmányozás a legfontosabb tényező a nagyüzemi sertéstartásban. A Pennsylvania State University kutatása szerint egy nagyüzemi sertéstelep, amelyik a fialástól a hizlalás végéig neveli a hízósertéseket, összes költségének 75%-át teszi ki a takarmányozási költség (Linneen és mtsai, 2007). Ez az arány azoknál a telepeknél, amelyek növendék malacokat értékesítenek 50%, míg azoknál, amelyek csak hizlalással foglalkoznak 65%.

A „szuperszaporá” kocák esetében az energia- és a táplálóanyagigény kielégítése jelentős mértékben befolyásolja a termelés hatékonyságát és a kocák hasznos élettartamát. Tekintettel arra, hogy a nagy teljesítményű, modern fajtáknak a szaporaság az egyik legfontosabb erénye, ennek megfelelő takarmányozással történő támogatása az egyik fő gazdasági cél. Számos tanulmány igazolta, hogy a megfelelő energiaellátás javítja a tenyész kocák reprodukzív teljesítményét (Wathes és mtsai, 2007; Rosero és mtsai, 2016). Az energiatöbbletnek köszönhetően fokozódik a tüszők növekedéséért (Follikuluszstimuláló hormon - FSH) és az ovulációért felelős (Luteinizáló hormon - LH) hormonok szekréciója, ami jótékony hatással van az érett tüszők számára, valamint minőségére, és az ovulációt követően befolyásolja a sárgatest (corpus luteum - CL) progeszteron hormon termelődését.

A sertéstakarmányok energiatartalmát hagyományos módon zsír-, illetve olajkiegészítéssel növelik, mivel ezek energiakonzentrációja 2-2,5-szer nagyobb más alapanyagokhoz képest (NRC, 2012). Egyes zsírforrások mellett, hogy a takarmányok energiatartalmának növelésére

alkalmazhatóak, a felépítésükben szerepet játszó, kedvező tulajdonságú zsírsavak miatt pozitív hatást gyakorolnak szaporodásbiológiai és egyéb élettani folyamatokra is (Kim és mtsai, 2007). Ilyenek a hosszú szénláncú többszörösen telítetlen zsírsavak (Long Chain Polyunsaturated Fatty Acids - LC PUFAs) csoportjába tartozó n-3 vagy más néven omega-3 zsírsavak, amelyek hatásait évek óta tanulmányozzák a sertéstenyésztéssel és takarmányozással foglalkozó szakemberek. Dolgozatomban az n-3 zsírsavak tenyészkocák takarmányozásában történő gyakorlati alkalmazását vizsgáltam, különös tekintettel az említett zsírsavak szaporodásbiológiai vonatkozásaira. Kutatásaim során arra kerestem a választ, hogy mely termelési fázisokban és milyen dózisban célszerű ezeket az n-3 zsírsavakat a tenyészkocák takarmányába keverni annak érdekében, hogy az állatok termelési mutatói javuljanak.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A zsírsavak osztályozása és metabolizmusa

A zsírsavak az élőlények szervezetében előforduló, változó szénatomszámú monokarbonsavak, amelyek az állati és növényi zsírok és olajok fő alkotóelemei. Szénatom számuk általában 4-36 között változik, de bizonyos állatfajokban ennél hosszabb szénláncú zsírsavak is előfordulnak (Miyazaki és Ntambi, 2008).

A zsírsavak osztályozása általában szénláncuk hossza és a szénatomok között található kötések telítettségi állapota alapján történik. Ezek alapján megkülönböztethetünk:

- nagyon rövid szénláncú zsírsavakat (SCFA), amelyek kevesebb, mint öt szénatomot tartalmaznak
- közepesen hosszú szénláncú zsírsavakat (MCFA), amelyek 6-12 szénatomot tartalmaznak
- hosszú szénláncú zsírsavakat (LCFA), amelyek 13-21 szénatomot tartalmaznak és
- nagyon hosszú szénláncú zsírsavakat (VLCFA), amelyek legalább 22 szénatomot tartalmaznak.

A zsírsavak lehetnek telítettek és telítetlenek, attól függően, hogy szénatomjaik között találhatóak-e többszörös (kettős, vagy hármás) kötések. A telített zsírsavak szénatomjai között csak egyszeres kötések fordulnak el. A telítetlen kötések tartalmazó zsírsavak elnevezése attól függ, hogy a szénlánc végén található metilcsoporttól (ún. omega-szénatom) hány szénatom távolságra található az első többszörös kötés. A telítetlen zsírsavak között megkülönböztetünk továbbá egyszeresen telítetlen- (MUFA) és többszörösen telítetlen zsírsavakat (PUFA), valamint a telítetlen kettős kötések pozíciójának függvényében „cisz”, illetve „transz” izomereket. A cisz izomer esetében a kettős kötésben résztvevő szénatomokon található hidrogén atomok a zsírsavmolekula azonos oldalán helyezkednek el, míg a transz izomer esetében az ellenkező oldalon. A hidrogén atomok elhelyezkedése hatással van a molekula alakjára és szerkezetének rugalmasságára.

A felsorolt tulajdonságok alapján az *1. táblázat* az állati szervezetben előforduló egyes zsírsavakat és azok nomenklatúráját ismerteti.

1. táblázat. Az állati szervezetben előforduló egyes zsírsavak szerkezete és elnevezésük (Miyazaki és Ntambi, 2008, valamint Palmquist, 2009 után).

Zsírsav	Szerkezet	Rövidítés
Palmitinsav	16:0	PA
Sztearinsav	18:0	SA
Olajsav	18:1n-9	OA
Linolsav	18:2n-6	LA
α -Linolénsav	18:3n-3	ALA
Arahidonsav	20:4n-6	ARA
Eikozapentaénsav	20:5n-3	EPA
Dokozapentaénsav	22:5n-3	DPA
Dokozahexaénsav	22:6n-3	DHA

Az állati szervezetben található zsírsavak, vagy a táplálkozás útján kerülnek felvételre (pl. esszenciális zsírsavak), vagy a szénhidrátokból történő ún. „de novo” szintézis során képződnek az egyes szervekben és szövetekben (pl. máj, zsírszövet, tőgyszövet). A táplálékkal felvett zsírok/olajok az emésztőcsatornában található zsírbontó enzimek (lipázok) révén szabad zsírsavakra (NEFA), valamint 2-monogliceridre bomlanak, amelyek a vékonybél nyálkahártyáján keresztül szívódnak fel és a nyirokkeringés, valamint a véráram útján jutnak el a célszervekhez.

A szervezetben zajló „de novo” szintézis során a szénhidrátokból a glikolízissel piroszőlősav keletkezik, ami a mitokondriumokban acetyl-coenzim-A (acetyl-CoA) molekulává alakul. Az acetyl-CoA ezután a citoszolba kerülve malonil-coenzim-A-vá (malonil-CoA) alakul, ami a zsírsavképződés első, valódi lépése (Stryer, 1995). A malonil-CoA lánchosszabbító reakciókon keresztül alakul a szervezet számára szükséges zsírsavakká, amely folyamatot az ún. elongáz enzimek végzik az endoplazmatikus retikulumban (ER). Az adott zsírsav szintézisének végeztével, az rendszerint más zsírsavakkal és egy glicerín molekulával együtt ún. trigliceridet képez, ami az állati szervezet számára a legfontosabb zsírsav és energiaraktár.

A zsírsavak lebontása szintén a mitokondriumokban történik, az ún. β -oxidáció és a citromsav ciklus során. Az oxidatív foszforiláció folyamatában a zsírsavak széndioxid és víz molekulákra bomlanak szét, miközben nagy mennyiségű adenosin-trifoszfát molekula (ATP) keletkezik, ami az élő sejt anyagcsere folyamataihoz szükséges energiát szolgáltatja.

2.2. A hosszú szénláncú többszörösen telítetlen zsírsavak

2.2.1. Osztályozás

A tudományos kutatás és a gyakorlati takarmányozás már régóta foglalkozik a hosszú szénláncú többszörösen telítetlen zsírsavak (LC PUFAs) élettani és takarmányozási hatásaival. A LC PUFA-k szénláncja minimum 18 szénatomból áll és legalább két telítetlen kettős kötést tartalmaz. Osztályozásuk a többi zsírsavhoz hasonlóan, a terminális metilcsoportéhoz viszonyított

első kettős kötés pozíciója szerint történik. A LC PUFA-k elnevezése megmutatja, hogy hány szénatom távolságra van az első kettős kötés a molekula metil csoportot tartalmazó végétől (pl. n-3 esetén a harmadik, n-6 esetén pedig a hatodik szénatom után található az első kettős kötés) (Williams, 2000).

A LC PUFA-k közül a linolsav (LA; C18:2, n-6) és az α -linolénsav (ALA; C18:3, n-3) esszenciális zsírsavak, mivel a gerincesek nem képesek azokat szintetizálni, ezért a felvételük csak táplálkozás/takarmányozás útján lehetséges (Di Pasquale, 2009). Fiziológiai szempontból a legismertebb LC PUFA-k a linolsavból képződő arachidonsav (ARA; C20:4, n-6), valamint az α -linolénsavból képződő eikozapentaénsav (EPA; C20:5, n-3), dokozapentaénsav (DPA; C22:5, n-3) és a dokozahexaénsav (DHA; C22:6, n-3).

2.2.2. Biológiai szerepük és átalakulásuk hosszabb szénláncú zsírsavakká

A LC PUFA csoportba tartozó zsírsavaknak számos hatása ismert a szervezetben. Részt vesznek a sejtek külső és belső membránjainak (foszfolipid kettős réteg) felépítésében, ezzel segítve a sejt integritásának és a membránok fluiditásának megőrzését és támogatva egyes intra- és intercelluláris jelátviteli mechanizmusokat. Részt vesznek egyes hormonok (pl. prosztanoidok) bioszintézisében és az immunfolyamatokban (Stillwell és Wassall, 2003). Ezen felül olyan specifikus gének expresszióját befolyásolhatják, amelyek szerepet játszanak a lipidanyagcsere és a koleszterinszintézis szabályozásában (Jump, 2008).

A LC PUFA-k közül az ARA és az EPA fontos szerepet töltenek be az immunfunkciókban, mivel kulcsszerepet játszanak az alapvető kémiai hírvivő molekulákként ismert eikozanoidok képződésében. Az ARA a 2-es típusú prosztaglandinok (PG-ok), a szintén 2-es típusú tromboxánok (TX-ok) és a 4-es típusú leukotriének (LT-ek) prekursora, míg az EPA a 3-as típusú PG-ok, a 3-as típusú TX-ok és az 5-ös típusú LT-eké (Calder, 2001). Ezek az eikozanoidok gyulladást okozó és gyulladáscsökkentő hatást egyaránt kifejthetnek, a prekursoraik közötti egyensúlytól függően, de jelenlétük fontos a szaporodási folyamatokban is, amint arra később részletesen kitérek. A LA és az ALA specifikus enzimek (pl. mikroszómális deszaturázok és elongázok) segítségével hosszabb szénláncú zsírsavakká alakulnak, mint például az ARA, illetve az EPA és a DHA. Az n-3 és az n-6 telítetlen zsírsavak szénláncainak meghosszabbítása a sejtekben párhuzamosan, egymással versengve történik, mivel a lánchosszabbításhoz szükséges enzimek azonosak (elongázok). A két útvonal azonban élesen elkülönül egymástól, mivel az n-3 és az n-6 zsírsavak nem képesek egymásba átalakulni (Schmitz és Ecker, 2008). A leírtak alapján e két zsírsavtípus mennyisége és egymáshoz viszonyított aránya a szervezetben közvetve és közvetlenül is a takarmányokban lévő mennyiségüktől függ.

A hosszabb szénláncú PUFA-k prekursoraiból (LA, ALA) történő átalakulását ugyanazok az elongáz és deszaturáz enzimek katalizálják, ezért az átalakulás mértékét az enzimek aktivitása mellett a rendelkezésre álló LA és ALA mennyisége határozza meg. Shahidi és Ambigaipalan (2018) vizsgálatai alapján az ALA kb. 4%-a alakul át hosszabb láncú n-3 zsírsavakká (EPA, DHA) a szervezetben, egyértelműen jelezve az ALA jelenlétének fontosságát a kockázatkormányban.

A LC PUFA-k anyagcseréje jelentős ivari különbséget mutat. Humán vizsgálatok alapján nőivarban a rendelkezésre álló ALA mintegy 8-20%-ból képződik EPA, ami kb. két és félszer hatékonyabb átalakulást jelent, mint hímivarban (Stark és mtsai, 2008). A különbség magyarázata az lehet, hogy nőivarban az ALA kisebb hányada fordítódik energiatermelésre (zsírsavak béta-oxidációja) és így nagyobb arányban képződhet belőle EPA (Burdge és Calder, 2005). Egy másik lehetséges magyarázat lehet az ösztrogén, mint női nem hormon hatása a zsírsavak átalakulására. Ösztrogén hatására nőkben magasabb a DHA koncentrációja, mint férfiakban, aminek hátterében az állhat, hogy az ösztrogén serkenti a DHA-szintézist, annak prekursoraiból, leginkább EPA-ból (Giltay és mtsai, 2004). Nőivarban az ALA DHA-vá történő átalakulási aránya elérheti a 9%-ot, különösen a vemhesség során. Valószínű, hogy a magzat DHA iránti igénye arra serkenti az anyagcserét, hogy többet szintetizáljon ebből a zsírsavból. Az ALA hosszabb szénláncú n-3 zsírsavakká (EPA, DHA) történő átalakulásának oka az utóbbiak létfontosságú szerepe lehet a sejtmembránok felépítésében, illetve a magzati agy, szív- és érrendszer, valamint az immunrendszer fejlődésében (Enke és mtsai, 2008; Stark és mtsai, 2008).

A szakirodalomban számos összefoglaló áttekintés található, amelyek részletesen bemutatják a LC PUFA-k fizikai-kémiai tulajdonságait, élettanát és anyagcseréjét, beleértve az egyes zsírsavak biológiai szerepét és hatásmechanizmusuk hátterét (Di Pasquale, 2009; Shahidi és Ambigaipalan, 2018; Palmquist, 2009). A LC PUFA-k szaporodásban betöltött szerepét többek között Wathes és mtsai (2007) tárgyalták átfogóan.

2.3. A többszörösen telítetlen zsírsavak szerepe az oxidatív folyamatokban

2.3.1. A lipidek peroxidációja

A kettőskötéseket tartalmazó telítetlen zsírsavak oxigén eredetű molekulákkal és gyökökkel való reakciója során a lipidperoxidáció folyamata megy végbe (Halliwell és Gutteridge, 1984). A lipidperoxidációban a trigliceridek, illetve a lipoidok, így a biológiai membránok foszfolipidjeinek telítetlen zsírsav komponensei oxidálódhatnak a kettős kötéseknel. A kettős kötések a metilén csoportnál bisz-allil hidrogént tartalmaznak, amely hajlamosabb az oxigén szabadgyökök hatására történő leválásra, azaz az oxidációra, mint a telített zsírsavak metilén-hidrogén atomjai. A zsírsavláncok az oxidáció hatására instabillá válnak, emiatt kisebb szénatomszámú egységekre

bomlanak, aminek eredményeként illékony szénhidrogének, így alkének majd aldehidek jönnek létre, végül a zsírsavlánc kis szénatomszámú egységekre, zsírsavakra hasad. A zsírsavakban lévő kettős kötések számának növekedésével párhuzamosan nő azok oxidáció sebessége (Varst, 2001), vagyis minél több telítetlen zsírsavat tartalmaz egy triglicerid vagy lipoid annál érzékenyebb az oxidatív károsodások iránt. A zsírsavak telítetlensége alapján a zsírokra egy ún. peroxidálhatósági indexet is kidolgoztak (Arakawa és Sagai, 1986), amely a zsírokat alkotó zsírsavak kettőskötéseinek számát veszi figyelembe. A takarmányokban a fenti módszernél egyszerűbb ún. oxidálhatósági értéket (oxidisability) használják, amely csak a zsírok linolsav (C18:2 n-6) és linolénsav (C18:3 n-3) tartalmát veszi figyelembe.

A többszörösen telítetlen zsírsavak nem enzimátikus oxidációja során nagyszámú oxidációs termék keletkezhet a kettőskötések helyére kapcsolódó oxigén atomok számától függően. Megállapították, hogy az n6 többszörösen telítetlen zsírsavak érzékenyebbek az oxidációra, mint az n-3 zsírsavak (Visioli és mtsai, 1998), amely feltehetően a kettős kötések zsírsavláncon belüli helyzetétől függ.

A lipidperoxidáció folyamata három fő szakaszból, iniciáció, propagáció és termináció áll. Az első szakasz a reaktív oxigén gyökök által aktivált iniciáció, amelynek során hidrogén elvonás történik a többszörösen telítetlen zsírsavlánc 1,4-cisz, cisz pentadién szerkezetéhez kapcsolódó szénatomról, és instabil zsírsav gyök keletkezik. Az ebben a szakaszban keletkező lipid szabadgyökök, mint a lipid alkoxil gyök vagy a lipid peroxil gyök életideje – tisztán kémiai rendszerben meghatározva - rövid (Pryor, 1976). Az így kialakuló zsírsavgyök molekuláris átrendeződéssel konjugált dién formájában stabilizálódik. Ezt a konjugációs szakaszt láncreakciószerű gyökképződési folyamat, a propagáció követi. Ennek során az instabil zsírsav gyök molekuláris oxigénnel reagálva zsírsav peroxi gyökké alakul, ami hidrogént von el egy másik zsírsav molekuláról, amely így instabil gyökös állapotba kerül és zsírsav hidroperoxidok keletkeznek, amelyek további oxidációs folyamatokat indukálhatnak (Pryor, 1976). A lipidperoxidáció a termináció szakaszával zárul, amelyben metastabil vagy stabil gyökök és molekulák keletkeznek (Sugiyama, 1994). A metastabil végtermékek közül lényegesek az alkanálok, amelyek tipikus képviselője a malondialdehid (Tappel és Dillard, 1981). A malondialdehid olyan hidroperoxidok bomlása során jön létre, amelynek kiindulási zsírsavlánca legalább két kettőskötést tartalmaz. A metastabil végtermékek másik csoportja az alkenalok, amelyeknek tipikus képviselője a 4-OH-nonenal (Esterbauer, 1985), amely főképp az n-6 többszörösen telítetlen zsírsavak peroxidációja során jön létre (Bartsch és mtsai, 2002). Az állati szervezet nagy zsírtartalmú szöveteiben a lipidperoxidáció eredményeként olyan komplex vegyületek is keletkeznek, mint például a lipofuszcín pigmentek (Charnock és mtsai, 1986), amelyek az oxidálódott zsírsavak mellett fehérje degradációs termékeket is tartalmaznak.

2.3.2. A biológiai antioxidáns rendszer

A lipidperoxidáció, valamint az oxigén szabadgyökök hatásai ellen az evolúció során egy hatékony védelmi rendszer, az antioxidáns védőrendszer alakult ki. Az antioxidáns rendszer azokat a tényezőket/mechanizmusokat foglalja magába, amelyek késleltetik, megakadályozzák vagy helyreállítják az oxidatív károsodásokat (Halliwell és Gutteridge, 2008). Az antioxidáns védőrendszer funkcionális szempontból két főcsoportra osztható. Az első csoportba azok a kis molekulatömegű antioxidánsok tartoznak, amelyeket az állati szervezet a táplálékkal vesz fel vagy a metabolizmus során állít elő. Ezek mennyisége az ellátottság, a szintézis, valamint a szervezeten belüli raktározás függvénye, ezek mennyisége tehát az oxidatív hatások által nem, vagy csak kismértékben szabályozott. Az antioxidáns védelem első, ún. nem enzimatis csoportjába tartozó vegyületek szerepe, hogy azokat a reaktív oxigén szabadgyököket neutralizálják, amelyek felezési- és reakcióideje rövid ($< 10^{-8}$ sec), emiatt nem állnak enzimatis kontroll alatt. A másik csoportba tartoznak a kis molekulatömegű antioxidáns peptidek és az antioxidáns enzimek, amelyek mennyisége, illetve aktivitása az oxidatív hatások mértékétől függően szabályozott (Halliwell és Gutteridge, 2008).

Az antioxidáns védelem jelenleg általánosan elfogadott rendszere szerint három védelmi vonalból áll (Surai, 2002). Az első védelmi vonal szerepe a további szabadgyök képződés megakadályozása. Ide tartoznak egyrészt az antioxidáns enzimek (tioredoxin reduktázok, szuperoxid dizmutáz, glutation peroxidázok, glutation-S-transzferázok, kataláz), valamint az átmeneti, tehát redox párokat kialakító fémeket (vas és réz) megkötő fehérjék (albumin, transzferrin, coeruloplasmin, ferritin és metallothionein). A második védelmi vonal szerepe a szabadgyökök által előidézett láncreakció kiteljesedésének megakadályozása. Ebbe a csoportba tartoznak a kis molekulatömegű lipidoldékony (A- és E-vitamin, karotinoidok, ubiquinonok) és vízóldékony (C-vitamin, glutation, húgysav) antioxidánsok. Ez utóbbiak közül a glutation szerepét emelik ki, mert a sejtek glutation tartalmának csökkenése hatására fokozódik a lipidperoxidáció (Vígh és mtsai, 2005). A harmadik védelmi vonal hármass szerepet tölt be. Egyrészt biztosítja az oxidálódott antioxidánsok, így például a glutation diszulfid (a glutation oxidált formája) redukcióját, a károsodott makromolekulák helyreállítását (pl. DNS repair enzimek), valamint az oxidatív károsodott makromolekulák eltávolítását. Az oxidálódott zsírsavakat a membránból a foszfolipáz A2 távolítja el, az oxidációs úton módosult és funkciójukat elvesztett fehérjéket pedig részben peroxiszóma eredetű peptidázok, valamint a kalpainok bontják.

A biológiai antioxidáns védelem reaktív oxigén gyökök hatására aktiválódik. Ennek során olyan folyamatok indukálódnak, amelyek hatására fokozódik az antioxidáns peptideket és antioxidáns enzimeket kódoló gének expressziója (Poli és mtsai, 2004). A folyamatban lényeges

szerepe van a redox szenzitív tiol vegyületeknek, így például a glutationnak, amely redox szignálként funkcionálva aktiválja a sejtválaszt, ezen belül az antioxidáns védelmet (Moran és mtsai, 2001). Az antioxidáns védőrendszer aktivációs folyamata az oxigén szabadgyökök jelenlétének, valamint az azok által előidézett károsodások mértékének függvénye. Ennek alapján dolgozták ki az oxidatív stressz hierarchikus modelljét (Gloire és mtsai, 2006). Ennek alapján mérsékelt oxidatív stressz során aktiválódik az enzimatis antioxiáns rendszer, míg az erőteljesebb oxidatív stressz egyéb útvonalakat aktivál, amelyek hatására sejtpusztulás következik be. Az enzimatis antioxiáns védelem szabályozása a Kelch-like ECH-associated protein 1 (Keap1) /Nuclear factor E2-related factor 2 (Nrf2) / antioxiáns válaszelem (ARE) útvonalon keresztül valósul meg (Suzuki és mtsai, 2016). Ennek alapján a Keap1/Nrf2 rendszert a sejtek legfontosabb oxidatív stressz szenzorának tekintik (Uruno és Motohashi, 2011). A jelátviteli, jelen esetben transzkripciós, folyamat eredményeként az állati genomban kb. 200 olyan gén aktiválódik, amelyek közvetlen vagy közvetett módon részt vesznek az antioxiáns védelemben. Így például aktiválja a glutation bioszintézisért felelős enzimek, a szuperoxid dizmutázok, a glutation peroxidázok, a kataláz, valamint a nem enzimatis védelemben szerepet játszó, a vas megkötéséért felelős, ferritin gének expresszióját (Petri és mtsai, 2012).

2.4. A többszörösen telítetlen zsírsavak szerepe a szaporodásbiológiában

2.4.1. A koca ivari ciklusa

A sertés ivari ciklusa, a többi gerinces emlőshez hasonlóan két fő részből áll. Kezdeti fázisa a folliculáris fázis, ami a tüszők növekedését, érését és az ennek következményeként lezajló hormonválasztást foglalja magába. A folliculáris fázis végén, az addig lezajló hormonális változások következményeként történik meg az ovuláció, ami az érett petesejtek tüszőállományból történő kilökődését jelenti. Második fázisa a luteális fázis, amely során az ovulációt követően a visszamaradt tüszőkből sárgatestek képződnek, amelyek megtermékenyülés esetén felelősek a vemhesség fenntartásáért.

Sertés esetében a ciklus 18-24 napig tart, átlagosan 21 nap hosszúságú. A folliculáris fázis viszonylag rövid, 5-7 nap, míg a luteális fázis 13-15 napig tart. A sertés multipara állat, aminek eredményképpen az életkor, a tápláltsági állapot és egyéb tényezőktől függően egy ovuláció alkalmával egyszerre 15-30 tüsző ovulál, amelyek közül általában 10-15 termékenyül (Soede és mtsai, 2011).

A női ivari ciklust a központi idegrendszerben található hypothalamus agyi terület által termelt, 10 aminosavból álló gonadotropin releasing factor (GnRF) irányítja. A hypothalamus ún. tónikus központja az ivarérés után folyamatosan, de viszonylag kis mennyiségben bocsát ki GnRF

molekulákat. Ez a GnRF mennyiség azonban elegendő, hogy serkentse az agyalapi mirigy follikulusstimuláló- (FSH) és luteinizáló hormon (LH) termelődését. A fölszabaduló FSH és LH gonadotropin hormonok a vérárammal jutnak el a petefészkek állományába, ahol serkentik a tüszők érését, kiválasztódását és hormontermelését a follikuláris fázisban.

A follikuláris fázis korai szakaszában (proestrus) a dominánssá vált tüszők a közeli vérerekből fölveszik az ösztrogén szekrécióhoz szükséges lipoproteineket és elindul a hormonképződéshez szükséges enzimek átíródása is. A leghatásosabb ösztrogénhormon a 17 β -ösztradiol (E2), aminek szintézise a tüszők theca és granulosa sejtjei közötti szoros együttműködés eredménye. Az LH hatására a tüszőkben képződő ösztrogén mennyisége folyamatosan nő fejlődésük során. Amíg az ösztrogén szintje alacsony a vérben, addig ez negatív hatással van a hypothalamus másik, ún. preovulációs központjára. A follikuláris fázis végére (estrus) a tüszők ösztrogéntermelése akkora szintet ér el, ami már pozitív hatással van a preovulációs központra és ott lökésszerű GnRF kibocsátást indukál, ami sokszorosa lehet (100 ng/ml vér szérum) a tónikus központ által termeltnek. A follikuláris fázis végén a magas ösztrogénszint következtében kialakuló GnRF termelés pozitív visszacsatolás révén magas LH- és alacsonyabb FSH-csúcsot idéz elő. Az LH-csúcs a várható ovuláció előtt kb. 24-36 órával következik be. Az LH-csúcs következményeként a tüszők granulosa sejtjeiben a korábban képződött ösztrogén helyett immáron progeszteron (P4) termelődik. A progeszteron képződés indítja el a luteinizáció folyamatát, ami a tüszők sárgatestekké (corpus luteum) történő átalakulását jelenti (Knox, 2015).

A luteális fázis első felében (metestrus) alakulnak ki a sárgatestek. A sárgatestek felelősek a vemhesség fenntartásáért progeszteron termelésük révén. A megrepedt tüszők helyén először az ún. corpus haemorrhagicumok (CH) alakulnak ki, amik kb. 1-3 napig vannak jelen. Miután a vérerek újra képesek vért szállítani az immáron üres tüszőkhöz, azokban elindul a progeszteronszintézis.

A progeszteron széleskörű hatással rendelkezik. Gátolja a hypothalamusban a GnRF termelődését, az FSH, LH termelést, ami az ovuláció előtt álló tüszők növekedési folyamatát lassítja. A progeszteron továbbá serkenti a méh belső nyálkahártyájának (endometrium) szekréciós működését, miközben gátolja a méh izmok (myometrium) összehúzódásait és serkentő hatással van a tőgyszövet fejlődésére is. A sárgatestekben a progeszteron mellett főként oxytocin és inhibin hormonok képződnek. Ez utóbbi hormon felelős az LH és FSH hormonok képződésének alacsony szinten tartásáért a ciklus második felében.

A luteális fázis legnagyobb részében a progeszteron termelése igen magas szinten van, míg az ösztrogéntermelés alacsony. Ha nem történik megtermékenyülés, a luteális fázis végén a sárgatestek elsorvadnak és helyükön kötőszövetből álló hegszerű képletek az ún. corpus albicansok alakulnak ki. Ezt a folyamatot nevezzük luteolízisnek. A luteolízis igen bonyolult, több

tényező folyamat. A sárgatestek sorvadását a méhszövetben termelődő prosztaglandin F2 α (PGF2 α) idézi elő, ami a vérárammal jut el a petefészkekbe, hogy ott kifejtse luteolitikus hatását.

A luteális fázis második felében (diestrus), kb. a 14. naptól az endometriumban akkor is elkezdődik a luteolitikus PGF2 α epizodikus felszabadulása, ha a koca vemhesül. A PGF2 α mellett azonban luteoprotektív, tehát a sárgatestek működését fenntartó PGE2 molekulák is termelődnek. A PGE2 és PGF2 α molekulák megfelelő aránya felelős a sertés vemhességének sikeres fenntartásáért. Vemhes kocákban az endometrium PGF2 α termelése jelentősen megváltozik a luteális fázis második felében. A legalacsonyabb szint a 10-11. napon tapasztalható, majd a 12. naptól szignifikáns növekedés kezdődik, ami a vemhesség során végig magas marad (De Rensis és mtsai, 2012).

A vemhes kocában a megtermékenyült petesejtekből kialakuló blasztociszták ösztrogén, illetve prolaktin termelése blokkolja a PGF2 α luteolitikus hatását. Az ösztradiol szekréciója révén az endometriumban termelődő PGF2 α a méh lumenébe kerül és nem a petefészkekbe futó vénákba, így nem képes luteolízist okozni a sárgatestekben (Spencer és mtsai, 2004b).

Sertés esetében a vemhesség csak abban az esetben marad fenn, ha mindkét méhszarvban legalább 2-2 embrió beágyazódik. Ha ez nem történik meg, akkor az adott méhszarvban a PGF2 α nem a méh lumenébe, hanem a petefészkek ereibe választódik ki és így luteolízist idéz elő mindkét oldali petefészken.

2.4.2. A többszörösen telítetlen zsírsavak szerepe a koca szaporodásában

Wathes és mtsai. (2007) szerint a többszörösen telítetlen zsírsavak úgy befolyásolják a szaporodásbiológiai teljesítményt, hogy pozitív hatással vannak a tüszők fejlődésére, valamint a prosztaglandinok és szteroidok képződéséhez szükséges enzimeket kódoló gének expressziójára. Sertés petesejtekben magas a LC PUFA-k szintje. Különösen az n-6 zsírsavaké magas (pl. ARA, az összes zsírsav kb. 10%-át teszi ki), ami fontos lokális szerepüket mutatja pl. a prosztaglandinok képződése során (Smits, 2011).

A LC PUFA-k a placentán keresztül képesek átjutni a magzatba, valamint kiválasztódnak a kocatejjel is (Samples és mtsai, 2011). A placentán keresztül történő szelektív transzportnak köszönhetően, főként a vemhesség második trimeszterétől kezdve, jóval magasabb a magzatban található ARA és DHA koncentrációja, mint az anyai vérben, úgy emberben, mint sertésben (De Quelen és mtsai, 2010).

A LC PUFA-k szaporodásbiológiára gyakorolt pozitív hatásai az n-3 zsírsavakhoz (ALA, EPA és DHA) köthetőek. Az n-3 zsírsavak képesek beépülni a petesejtekbe, növelik a petefészteken található tüszők számát és minőségét, továbbá a prosztaglandin bioszintézisben részt vevő gének (pl. foszfolipáz-A, prosztaglandin-E-szintáz enzimek génjei) expresszióját

befolyásolva javítják a magzat túlélési esélyeit, ahogy azt szarvasmarha és juh esetében bizonyították (Coyne és mtsai, 2008; Gulliver és mtsai, 2012).

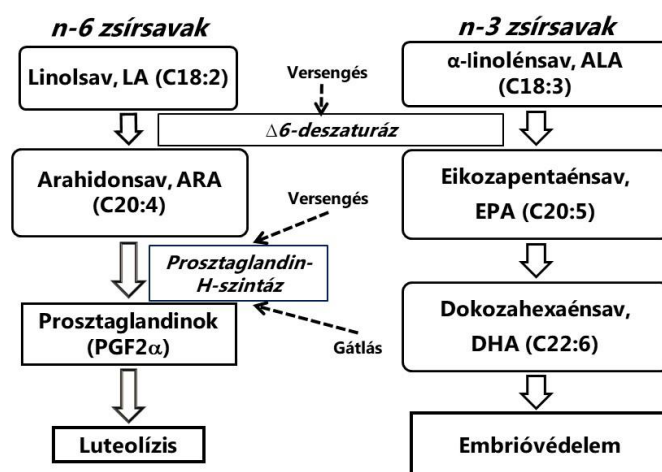
Humán vizsgálatok alapján, az n-3 zsírsavak magasabb aránya az anyai szervezetben pozitívan befolyásolta a magzatok növekedési erélyét és ezáltal a születési súlyát, ami valószínűleg összefüggésben áll a terhesség megnövekedett hosszával is (Grootendorst-van Mil és mtsai, 2018). Li és mtsai. (2017) 22 humán vizsgálat adatait elemezték. A vizsgálatok eredményei alapján, az anyai étrend n-3 zsírsavakkal történő kiegészítése terhesség és/vagy a szoptatás alatt szignifikánsan növelte a csecsemők születéskori testtömegét a kiegészítésben nem részesülő kontrollcsoporthoz képest. További elemzések során az is kiderült, hogy a DHA csak nagy dózisban (≥ 800 mg/nap) volt hatással a gyermekek születéskori testtömegére, míg az EPA-kezelés már kis dózis esetén is szignifikáns hatást eredményezett.

Az n-3 zsírsavak hozzájárulnak, hogy az anyai szervezet hatékonyabban ismerje fel a benne található magzatokat, ezáltal csökkenthető a korai embrióelhalás. Kérődzőkben az embriók növekedése során egy specifikus molekula, az ún. interferon- τ (IFN- τ) termelődik, ami jelzi az anyai szervezet számára az embriók létezését, valamint biztosítja a vemhesség fenntartását a prosztaglandin F2 α (PGF2 α) termelődésének visszaszorításával (Roberts, 2007). Az IFN- τ jel erőssége az embrió(k) méretétől függ. Minél nagyobb az embrió, annál több IFN- τ termelődik és annál erősebb a vemhességet jelző szignál. Korai embrióelhalás akkor következik be, ha a kisméretű embriók nem képesek elég erőteljes jelet produkálni ahhoz, hogy megakadályozzák az endometriumban termelődő PGF2 α luteolitikus hatására bekövetkező sárgatest regressziót. Az ovulációt követően a sárgatest nagy mennyiségű progeszteront termel, ami pozitív hatással van a korai embrionális fejlődésre, mivel a progeszteron serkenti az embrió növekedéséhez szükséges különböző táplálóanyagok (pl. polipeptidek és mitogén faktorok) termelődését.

Bilby és mtsai. (2006) szerint halolaj etetés hatására csökken a PGF2 α mennyisége az endometriumban, ami növeli a sárgatest életképességét és ezáltal az embriók túlélési esélyét tejelő tehenekben. Megállapításaikat Mattos és mtsai. (2003) vizsgálataira alapozták, akik azt találták, hogy szarvasmarha endometrium sejttenyészet 100 μ M ALA-val, EPA-val és DHA-val történő 24 órás inkubálása után a sejtek PGF2 α termelése szignifikánsan csökkent ($p < 0,05$). Chartrand és mtsai. (2003) kutatásai alapján a vérplazmában és a méhfolyadékban is csökkent a prosztaglandin F2 α és E2 (PGF2 α , PGE2) koncentrációja, ha a vemhesség elején lévő kocasüldők takarmányához faggyú helyett, lenolajat (ALA) adtak. A szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy a prosztaglandinok csökkenésének hátterében, a kialakulásukhoz szükséges ARA, valamint szubsztrátjainak alacsonyabb szintje állhat.

A PGF2 α arachidonsavból (ARA, C20:4) képződik, amely származhat a takarmányból, de a szervezetben is képes LA-ból metabolizálódni. Humán vizsgálatok alapján az n-3 zsírsavak

jelenléte gátolja a $\text{PGF2}\alpha$ szintézisét (Vedin és mtsai, 2010). Az ALA verseng az LA – ARA átalakulásért felelős $\Delta 6$ -deszaturáz enzim kötőhelyeiért, ezáltal csökkenti az átalakulás mértékét. Az EPA hasonló módon verseng az ARA – prosztaglandin átalakulást katalizáló prosztaglandin H szintáz kötőhelyeiért, míg a DHA közvetlenül gátolja a prosztaglandin H szintáz működését ezzel csökkentve a termelődő $\text{PGF2}\alpha$ mennyiségét. Az n-3 zsírsavak $\text{PGF2}\alpha$ termelődésére gyakorolt hatásait az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. A többszörösen telítetlen zsírsavak (PUFA) szerepe a szaporodásbiológiában.

Az EPA-t és DHA-t tartalmazó halolaj etetése növeli a progeszteron receptort kódoló mRNS szintjét és ezáltal a progeszteron receptorok expresszióját a méhnyálkahártyában, ami jótékony hatással van a vemhesség fenntartására tejelő tehenekben (Bilby és mtsai, 2006).

Bár a $\Delta 6$ -deszaturáz enzim ALA-hoz történő affinitása nagyobb, mint az LA-hoz, az állati takarmányok magasabb LA koncentrációja rendszerint a hosszabb szénláncú n-6 zsírsavak (pl. ARA) kialakulásának kedvez. Mivel a $\Delta 6$ -deszaturáz enzim mennyisége és aktivitása limitáló tényező lehet a hosszabb szénláncú telítetlen zsírsavak képződése során, a magas n-6 zsírsavbevitel jelentősen csökkenti az ALA hosszabb szénláncú n-3 zsírsavakká (EPA, DHA) történő átalakulását (Palmquist 2009). Viszont, ha nő a takarmányban található n-3 zsírsavak mennyisége, az pozitívan befolyásolja a hosszabb szénláncú n-3 zsírsavak képződését is, de nem csupán közvetlen módon, hanem az 1. ábrán bemutatott közvetett, a hosszabb szénláncú n-6 zsírsavak kialakulására gyakorolt negatív hatás folytán is (Goyens és mtsai, 2006).

2.5. Többszörösen telítetlen zsírsavak a tenyészkocák takarmányozásában

2.5.1. A kocák teljesítményére gyakorolt hatások

Az n-6 zsírsavak, az n-3 zsírsavakhoz hasonlóan nagy jelentőséggel bíró táplálóanyag összetevők és számos fiziológiai szempontból fontos szerepük van a szervezetben. Az embriók növekedési ütemére például közvetlenül hatással van a szervezetben található ARA mennyisége. Mivel az EPA és a DHA jelenléte csökkenti, illetve gátolja az ARA-eredetű prosztaglandinok szintézisét, közvetett módon lassíthatják az embriók növekedését a vemhesség alatt és kitolhatják a fialás időpontját. Azok az n-3 zsírsavak, amelyek nem kapcsolódnak közvetlenül az eikozanoid szintézishez, az ioncsatornákra és a sejtek közötti jelátviteli folyamatokra gyakorolt hatásukon keresztül befolyásolhatják a myometrium összehúzódásait, ami szintén növelheti a vemhesség hosszát. A hosszú szénláncú telítetlen zsírsavak izomsejtek különböző ioncsatornáira gyakorolt hatásai humán vizsgálatok alapján jól dokumentáltak (Elinder és Liin, 2017). Sertésekkel végzett kísérletek alapján azonban azt is sikerült igazolni, hogy az n-3 zsírsavak emelt dózisban történő etetése a vemhesség alatt növeli a vemhesség hosszát (Rooke és mtsai, 2001a).

Egyes tanulmányok szerint az n-3 zsírsavak a szoptatás alatt, illetve kocasüldőkkel etetve pozitív hatással vannak a következő fialás eredményeire (élve született malacok száma, malacok tömege stb.), ami azt sugallja, hogy a rövidebb távú etetésnek is lehetnek gyakorlati előnyei a táplálóanyagok átmeneti hiányának pótlása révén (Webel és mtsai, 2003; Spencer és mtsai, 2004a; Smits és mtsai, 2011). A hatás hátterében az állhat, hogy a következő szaporodásbiológiai ciklusban ovuláló tüszők már a szoptatás során elkezdnek fejlődni (Soede és mtsai, 2011), így az n-3 zsírsavak hatására kialakuló fejlettebb és egészségesebb tüszők nagyobb valószínűséggel termékenyülnek nem csak többször ellett kocákban, de kocasüldőkben is. Az említett eredmények összhangban vannak Smit és munkatársai megfigyeléseivel, akik n-3 zsírsavakkal történő kiegészítést követően nagyobb méretű sárgatesteket találtak a vizsgált kocasüldők és választás utáni időszakban lévő kocák petefészkeiben (Smit és mtsai, 2012).

Az n-3 zsírsavak tenyészkocákkal történő folyamatos etetése pozitív hatással lehet a következő vemhesség eredményeire (Smits és mtsai, 2011). Ennek oka feltehetően az, hogy a következő vemhesség kialakulásához szükséges tüszők fejlődése már az előző szoptatás alatt elindul. Az n-3 zsírsavak tüszők fejlődésére és növekedésére gyakorolt pozitív hatása révén több és nagyobb méretű petesejt ovulálódhat, illetve termékenyülhet (Zeron és mtsai, 2002; Rosero, 2016). Az n-3 zsírsavak sárgatest működésére gyakorolt pozitív hatása emellett segíti a vemhesség fenntartását és csökkenti a sertésekre jellemző korai embrióvesztés mértékét (Farnworth és Kramer 1988; Brazle és mtsai, 2009).

Rosero és mtsai. (2016) tanulmánya szerint az ALA kiegészítés növelte a választás után szabályosan ivarzó kocák arányát, csökkentette a választás és az első szabályos ivarzás között eltelt időt, javította a termékenyülési és a fialási arányt, valamint csökkentette a kocák selejtezési arányát a kiegészítésben nem részesülő kontroll csoporthoz képest. Smits és mtsai. (2011) vizsgálatában, a szoptató koca takarmány 0,33 g/kg n-3 zsírsavakkal (halolaj) történő kiegészítése csökkentette a választás és az ivarzás között eltelt időt (6,3 vs. 7,8 nap), 1%-kal javította a termékenyülési (75,8% vs. 74,8%) és 1,4%-kal a fialási arányt (73,5% vs. 72,1%), valamint növelte az élve született malacok számát (10,3 vs. 9,3 db), valószínűleg az alacsonyabb embrióelhalásnak köszönhetően. Korábbi kutatások szintén kimutatták az n-3 zsírsavak pozitív hatását a kocák következő fialáskor tapasztalható alomméretére (Webel és mtsai, 2003), valamint kocasüldők első fialása esetén (Spencer és mtsai, 2004a), a szoptatás alatti, illetve a termékenyítési időszakban alkalmazva negatív kontrollokkal szemben. Posser és mtsai. (2018) ettől eltérő eredményeket tapasztaltak. Az ellentmondásos eredmények egyik lehetséges magyarázata lehet az állatok genetikai hátterének gyors ütemben történő változása az elmúlt évtizedben. A Smits és mtsai. (2011) által vizsgált kocák átlagos alomlétszáma 9,3 volt, míg Posser és mtsai. (2018) esetében vizsgált kocáké már 14. További lehetséges okok lehetnek, hogy mivel az n-3 zsírsavak fontos táplálóanyagok, ezért abszolút mennyiségük, a különböző vizsgálatokban alkalmazott n-6/n-3 zsírsavak aránya, illetve a zsírsavak forrása egyaránt befolyásolhatják a kapott eredményeket. Rosero és mtsai. (2016) például kukorica/szója alapú takarmányozás mellett lenmagolaj kiegészítést alkalmazott; míg Smits és mtsai. (2011) halolajjal kiegészített búza/árpa alapú kocatápokat etetettek; Webel és mtsai. (2003) valamint Spencer és mtsai. (2004a) pedig tengeri algákat használtak n-3 forrásként, hasonlóan Posser és munkatársaihoz (2018), azzal a különbséggel, hogy a két korábbi tanulmányban kukorica/szója alapú takarmányozás folyt, míg Posser és munkatársai búza/árpa alapút alkalmaztak. A kukorica/szója alapú teljes értékű takarmánykeverékek több n-6 zsírsavat tartalmaznak, mint a búza/árpa alapúak, ezért az n-3 zsírsavakkal történő kiegészítés nagyobb mértékben növeli az n-3/n-6 zsírsavak arányát.

Rooke és mtsai. (2001b) az alomlétszám csökkenését figyelték meg a lazacolaj mennyiségének fokozatos emelése mellett a tenyészkocák takarmányozása során (0, 5, 10, 20 g/kg takarmány). A tapasztaltak azonban valószínűleg nem állnak kapcsolatban a halolajetetéssel, mivel az a vemhesség 60. napján kezdődött, amikor az alom méretét meghatározó megtermékenyülés, beágyazódás, illetve korai embrióelhalás már lezajlott (Soede és mtsai, 2011).

Posser és mtsai. (2018) a malacoknál nagyobb születéskori tömeget, a kocáknál pedig csökkent triglicerid vérszinteket tapasztaltak 28,0 g/nap mikroalga kivonattal (*Schizochytrium* sp.) a vemhesség során történt kiegészítés esetén, ami kocánként napi 3,36 g DHA-bevitelnek felel meg. Számos más tanulmány azonban nem igazolta a vemhesség alatti n-3 zsírsav kiegészítés

malacok születés kori tömegére gyakorolt pozitív hatását (Rooke és mtsai, 2001c; Smit és mtsai, 2013; Smit és mtsai, 2015). Hozzá kell azonban tenni, hogy az utóbbi vizsgálatokban a vemhesség 113–114. napján fialásindukciót végeztek PGF2 α alkalmazásával, ami valószínűleg csökkentette az n-3 zsírsavak fialásra gyakorolt késleltető hatását.

Mateo és mtsai. (2009) nem találtak különbséget a malacok születési tömegében a vemhesség második felében és a szoptatás alatt alkalmazott n-3 zsírsavkiegészítés és a kiegészítésben nem részesült kocák malacai között. Közel szignifikáns különbséget tapasztaltak viszont a következő fialás során született malacok tömegében (1,65 vs. 1,54 kg; $p < 0,06$), ami Smits és mtsai. (2011), valamint Webel és mtsai. (2003) eredményeit erősíti meg, miszerint a szoptatás alatt etetett n-3 zsírsavak pozitívan befolyásolhatják a következő fialás teljesítményét.

2.5.2. A tenyészkocák antioxidáns és hormon rendszerére gyakorolt hatások

Az n-3 zsírsavak sertések antioxidáns rendszerére és a szaporodási folyamatokban szerepet játszó hormonjaira gyakorolt hatásaival kapcsolatban kevés a szakirodalomban található eredmény (Clément és mtsai, 1994; Chartrand és mtsai, 2003; Habeanu és mtsai, 2011; Frankic és Salobir, 2011; Smit és mtsai, 2012; Lee és mtsai, 2016; Lee és Kang, 2019). A vizsgálatok jelentős részét nem tenyészállatokkal végezték és úgy tűnik, hogy a kutatók még nem tanulmányozták ezeket a hatásokat olyan modern, nagy teljesítményű genotípusokon, mint például a Dán nagyfehér \times Dán lapály. Ugyanakkor számos információ áll rendelkezésre más állatfajok (pl. kérődzők, laboratóriumi rágcsálók), valamint az ember esetében (Venkatraman és mtsai, 1994; Robinson és mtsai, 1998; Staples és mtsai, 1998; Childs és mtsai, 2008; Leroy és mtsai, 2008; Vedin és mtsai, 2010; Dirandeh és mtsai, 2013; Anderson és mtsai, 2014; Mahla és mtsai, 2017; Verma és mtsai, 2018; Sley és mtsai, 2020; Miralles-Pérez és mtsai, 2021).

A nagyüzemi sertéstelepeken termelő állatok, különösen a tenyészkocák folyamatosan nagymérvű immunszuppresszióknak vannak kitéve. A választás, a termékenyítés, a takarmány- és a csoportváltások olyan stressztényezők, amelyek a betegségekre való fokozott fogékonyságon és a szaporodásbiológiai problémákon keresztül folyamatosan csökkentik az állatok teljesítményét. Az immunszuppresszív folyamatok kedvezőtlen hatásai rontják az állattartás gazdasági mutatóit, így csökkentésük elsődleges feladat (Lee és Kang, 2019). Az immunszuppresszív folyamatok oxidatív stresszt indukálnak az állatok szervezetében, ami reaktív oxigén gyökök (ROS) képződésével jár együtt. A reaktív szabadgyökök a DNS, a fehérjék, a szénhidrátok és a sejtmembránokban található telítetlen zsírsavak károsítása révén negatívan befolyásolják a normál sejtfunciókat. A többszörösen telítetlen zsírsavak, mint például az EPA, a DHA, vagy az ARA érzékenyek a reaktív oxigén gyökök okozta oxidatív károsodásra, amely ellen a korábban ismertetett biológiai

antioxidáns védelem hat, csökkentve a szervezetben kialakuló oxidatív stressz mértékét (Richard és mtsai, 2008).

A vemhesség és a szoptatás alatt kialakuló fokozott oxidatív stressz összefüggésbe hozható a DNS károsodásával nagy szaporodóképességű, többször fialt kocák esetében is. Berchieri-Ronchi és mtsai. (2011) kutatásai alapján a DNS károsodásának mértéke a limfocitákban 21% volt a vemhesség korai szakaszában és 47% a szoptatás alatt.

A LC PUFAs fontos szerepet játszanak mind az immun-, mind a reprodukív funkciókban, mivel különböző típusú eikozanoidok szintézisének előanyagai (Grez és mtsai, 2016). Amint arra korábban már utaltam, az arachidonsav (ARA, C20:4n6) központi szerepet játszik az ivarzási ciklus szabályozásában azáltal, hogy a belőle képződő prosztaglandin F2 α (PGF2 α) idézi elő a ciklus végén a sárgatestek regresszióját (luteolízis) (Verma és mtsai, 2018). A hosszú szénláncú n-3 zsírsavak, mint például az eikozapentaénsav (EPA, C20:5n3) és a dokozahexaénsav (DHA, C22:6n3), élettanilag a legaktívabb PUFA-k közé tartoznak és fontos szerepet játszanak a szaporodási folyamatokban részt vevő hormonok bioszintézisében (Kurlak és Stephenson, 1999; Stillwell & Wassall, 2003; Calder, 2006). A PGF2 α mellett a többszörösen telítetlen zsírsavak hatással vannak a progeszteron képződésben szerepet játszó zsírsanyagcsere folyamatokat szabályozó gének expressziójára, tehát a progeszteron termelődésére, amely az anyai szervezet legfontosabb magzatvédő hormonja (Jump, 2008). Az alacsony P4 és magas PGF2 α szint a vemhesség korai szakaszában korai embrióelhalást okozhat (Geisert és mtsai, 2020). Leroy és mtsai. (2008) n-3 zsírsavakkal kiegészített takarmányt etettek tejelő tehenekkel és megállapították, hogy az csökkentette az ARA-ból származó PGF2 α képződését az endometriumban, növelve ezzel a sárgatestek életképességét és ezáltal az embriók túlélését. Ennek a hatásnak a hátterében az a fentebb tárgyalt folyamat állhat, hogy az EPA verseng az ARA-val az ARA-prosztaglandin konverzióért felelős prosztaglandin H szintetáz (PHS) enzim kötőhelyeiért, míg a DHA közvetlenül gátolja az említett enzim aktivitását (Vedin és mtsai, 2010).

2.5.3. Az utódokra gyakorolt hatások: fejlődés és malacelhullás a szoptatás alatt

A hosszú szénláncú telítetlen zsírsavak (LC PUFAs) a placentán keresztül átjutnak a magzatba, valamint a kocatejbe is kiválasztódnak, így a fiatal malacok még a szoptatás alatt is folyamatosan fel tudják venni azokat (Greenberg és mtsai, 2008; Sampels és mtsai, 2011). A LC PUFAs fontos szerepet játszanak az immunfolyamatokban, mivel belőlük olyan molekulák (eikozanoidok) képződnek, amelyek különböző gyulladáscsökkentő faktorok prekursorai (Grez és mtsai, 2016).

Az n-3 zsírsavak malacok választás előtti teljesítményére gyakorolt hatásával foglalkozó tanulmányok eredményei igen változatosak (Tanghe és De smet, 2013). Több kutató is arról

számolt be, hogy nem volt szignifikáns különbség a választás előtti testtömeggyarapodás, illetve a malacelhullás tekintetében, ha negatív kontrollal szemben a kísérleti kocákat n-3 zsírsavakkal kiegészített takarmányokkal etették (Lauridsen és Jensen, 2007; Papadopoulus és mtsai, 2009; Samples és mtsai, 2011; Smits és mtsai, 2011). Egy viszonylag friss tanulmány alapján viszont, a vemhes és a szoptató tápok 1%-os lazacolajjal történő kiegészítése a szójaolajjal szemben negatív hatással volt az alom születéskori tömegére és a szopósmalacok elhullási arányára (McDermott és mtsai, 2020).

A leírtakkal szemben több kutató is javulást tapasztalt az aktuális és az azt követő fialás során született malacok teljesítményében, ha a tenyészkocák n-3 zsírsav kiegészítést kaptak a szoptatás alatt. Rooke és mtsai. (2001c), valamint Mateo és mtsai. (2009) arról számoltak be, hogy a malacok választáskori testtömege nagyobb volt, mint a kontrollé, ha a kocák halolajból vagy tengeri algákból származó n-3 zsírsavakkal kiegészített takarmányt kaptak a vemhesség második felében. Luo és mtsai. (2013) szintén javuló testtömeggyarapodást tapasztaltak a malacok első 21 életnapja során, ha a tenyészkocák 70 g/kg takarmány halolaj kiegészítést kaptak a szoptatás alatt. Lavery és mtsai. (2019) szója-, illetve halolajjal etettek kontroll és kísérleti tenyészkocákat a vemhesség 105. napja és a választás között. A felhasznált olajforrások nem voltak hatással az élve, illetve a halva született malacok számára, de csökkenés volt tapasztalható a szopósmalac elhullásban és a testtömeggyarapodás is nőtt a lazacolajat fogyasztó kocák malacainál a szoptatás második felében.

Rooke és mtsai. (2001a), valamint Farmer és mtsai. (2010) vizsgálatai alapján a tenyészkocák takarmányainak n-3 zsírsavakkal történő kiegészítése a vemhesség és a szoptatás alatt egyértelműen csökkentette a szopósmalacok elhullási arányát. A csökkenés hátterében az állhat, hogy a tejjel a malacok szervezetébe kerülő n-3 zsírsavak pozitív hatással vannak a malacok immunstátuszára, amit több szerző is igazolt. Leonard és mtsai (2010) negatív kontrollal szemben, növekedést tapasztaltak a szopósmalacok vérében található E. coli fagocitózisára képes leukociták és limfociták mennyiségében, amikor anyjuk napi 100 g halolajat fogyasztott. Luo és mtsai (2013) 7%-os halolaj kiegészítésben részesült kocák malacainak izmaiban található gyulladásos faktorok (IL-6 és TNF- α) expressziójában találtak csökkenést, ugyanakkora faggyú kiegészítéssel szemben. Az n-3 zsírsavak malacok életképességére és növekedésére gyakorolt pozitív hatásának másik lehetséges oka a bélmorfológiára és a bélnyálkahártya permeabilitására gyakorolt hatása lehet (Liu, 2015). Ezzel kapcsolatban bizonyították, hogy a választott malacok éhbelében (jejunum) javul a glükóz felszívódása, amennyiben a szoptató kocák n-3 zsírsavkiegészítést kaptak (Gabler és mtsai, 2009). Az n-3 zsírsavak azonban nem csak a malacok gasztrointesztinális funkcióit és bélintegritását javítják, hanem a tenyészkocákét is. Leonard és mtsai. (2011) kutatásai alapján a kocák takarmányának n-3 zsírsavakkal történő kiegészítése a vemhesség 109. napja és a választás

között, csökkentette a vakbélben található *Escherichia coli* baktériumok számát és növelte a bélbolyhok magasságát a csípőbélben (ileum).

Az irodalmi adatokat összegezve megállapítható, hogy az n-3 zsírsavak tenyészkocákkal történő etetése közvetett módon, de hatással lehet a malacok választás előtti teljesítményére. Ez a hatás kétféleképpen valósulhat meg: először, az embrionális fejlődés korai szakaszában, amikor a növekvő embriók a placentán keresztül juthatnak hozzá ezekhez a zsírsavakhoz; másodsor, a fialás után, a kolosztrum és kocatej elfogyasztása által, amely megemelkedett n-3 zsírsavkoncentrációja révén befolyásolhatja a fiatal állatok életképességét és immunstátuszát.

Az n-3 zsírsavak tenyészkocák és malacaik teljesítményére gyakorolt tudományos szakirodalomban fellelhető hatásait az 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat. Az n-3 zsírsavak tenyészkocák és malacaik teljesítményére gyakorolt hatásai.

Referencia	Zsírsavforrás	Etetés ideje	Alomméret	Alomtömeg	Malac ttgy.	Malacelhullás	Kocák
Gunnarsson és mtsai. (2009)	Lenolaj 10 g/kg tak.	Választástól választásig	=	=	-	-	-
De Quelen és mtsai. (2010)	Lenolaj 15 és 55 g/kg tak.	Vemhesség és szoptatás	=	=	=	=	=
Farmer és mtsai. (2010)	Lenmag és lenolaj 100 g/kg tak.	A vemhesség 63. napjától választásig	-	=	=	↓	=
Rosero és mtsai. (2016)	Lenolaj	Szoptatás	=	=	↑	=	A WOI, az ivarzási és a fialási arány javult
Yao és mtsai. (2012)	Kukorica- és lenolaj keveréke 4%	Vemhesség 108. napjától választásig	=	=	=	↓	-
Eastwood és mtsai. (2014)	Lenmag, lenolaj és halolaj	A vemhesség 80. napjától választásig	-	=	↑	=	-
Eastwood és mtsai. (2016)	Lenmag, lenolaj és halolaj	Vemhesség, szoptatás	=	=	=	-	Az ADFI a szoptatás alatt ↓
Wang és mtsai. (2021)	Védett len- és halolaj 0,9% a takarmányban	Vemhesség 107. napjától választásig (33 nap)	=	=	↑	=	=
Rooke és mtsai. (2001a)	Lazacolaj 1,65 g/kg tak.	Vemhesség és szoptatás	=	Egyedi tömeg ↓	↑	↓	-
Rooke és mtsai. (2001b)	Lazacolaj 5, 10, 20 g/kg tak.	A vemhesség 60. napjától a fialásig	↓	A dózis emelésével	=	-	=
Rooke és mtsai. (2001c)	Tonhalolaj 17,5 g/kg tak.	A vemhesség 63. és 91. napja között	=	=	↑	=	-
Lauridsen és Danielsen (2004)	Napraforgóolaj és halolaj 8%	A vemhesség 108. napjától választásig	=	-	↓	=	A szoptatás alatti tömegvesztés ↓ (ns.)
Lauridsen és Jensen (2007)	Halolaj 80 g/kg tak.	A fialás előtti 7. naptól választásig	-	-	=	-	-
Matteo és mtsai. (2009)	Halolaj 2 g/kg tak.	A fialás előtti 60. naptól választásig	Következő fialásnál ↑	Következő fialásnál ↑	↑	=	=
Papadopoulos és mtsai. (2009)	Halolaj 20 g/kg tak.	A fialás előtti 8. naptól választásig	-	-	=	=	-
Smits és mtsai. (2011)	Halolaj 0,33 g/kg tak.	Szoptatás	Következő fialásnál ↑	-	=	=	A WOI és a fialási arány javult
Luo és mtsai. (2013)	Halolaj 70 g/kg tak.	Szoptatás	-	=	↑	-	-
Smits és mtsai. (2013)	Halolaj 3 és 10 g/kg tak.	Termékenyítés előtti 6. héttől és 25 nappal utána	=	-	-	-	Korai embrióelhalás ↓
Grež és mtsai. (2016)	Halolaj 3 és 6 g/kg tak.	A vemhesség 100. napjától választásig	-	=	=	=	=

Referencia	Zsírsvforrás	Etetés ideje	Alomméret	Alomtömeg	Malac ttgy.	Malacelhullás	Kocák
Lavery és mtsai. (2019)	Halolaj 1,8 és 6% a takarmányban	A vemhesség 105. napjától választásig	-	=	↑	↓	-
Luo és mtsai. (2019)	Halolaj 2,5%-2,8% a kocatápokban	A vemhesség 85. napjától választásig	=	=	=	=	=
Petrone és mtsai. (2019)	Halolaj (Menhaden) 4% a takarmányban	Vemhesség és szoptatás	↑	Egyedi tömeg ↓	Kocáknál ↓	-	-
McDermott és mtsai. (2020)	Lazacolaj 1% a takarmányban	Vemhesség és szoptatás	=	↓	=	↑	1. fialásnál romlott, 2. fialásnál javult
Kibria és mtsai. (2021)	Lazacolaj 0,5% a takarmányban	Szoptatás	=	↑	↑	=	A szoptatás alatti tömegvesztés ↓
Webel és mtsai. (2003)	Tengeri alga 85 g/koca/nap	Fialás előtt 5. naptól a termékenyítésig	Következő fialásnál ↑	-	-	-	=
Spencer és mtsai. (2004a)	Tengeri alga 85 g/kocasüldő/nap	A termékenyítés előtti 30. naptól fialásig	Következő fialásnál ↑	Egyedi tömeg ↓	-	-	-
Leonard és mtsai. (2011)	Tengeri hínár 10 g/koca/nap + Halolaj 100 g/koca/nap	A vemhesség 109. napjától választásig	-	-	=	-	-
Smit és mtsai. (2012)	Tengeri alga 84 g/koca/nap	A vemhesség 60. napjától választásig	=	=	=	↑	A sárgatestek mérete ↑
Smit és mtsai. (2015)	Tengeri alga 5 g/kg tak.	Választástól választásig	↓	=	=	-	-
Posser és mtsai. (2018)	Tengeri alga 3,5, 7, 14, 28 g/koca/nap	A vemhesség 85. napjától a termékenyítésig	=	A legnagyobb dózisonál ↑	=	-	=

= = nincs változás; ↑ = nőtt; WOI = Választás és ivarzás között eltelt idő; ↓ = csökkent; ADFI = Átlagos napi takarmányfelvétel; ns = nem szignifikáns különbség.

2.6. Az n-3 zsírsavak forrásai és mennyiségük a sertéstakarmányokban

A többszörösen telítetlen zsírsavak, különösen az n-6 és n-3 zsírsavak régóta kutatott táplálóanyagok. Sertések esetében széles körben vizsgálták ezen zsírsavak teljesítményre, szaporodásbiológiára, állategészségügyi problémákra és a funkcionális (egészségvédő hatású) élelmiszer előállításra gyakorolt hatásait. A kutatások során legtöbbször alkalmazott n-3 zsírsavforrások a lenmag/olaj (Nuernberg és mtsai, 2005; De Tonnac 2017; Ogluszka és mtsai, 2020), a halolaj (Laws és mtsai, 2009; Petrone és mtsai, 2019; Komprda és mtsai 2020; McDermott és mtsai 2020) és a tengeri algák (De Tonnac, 2017; Moran és mtsai., 2018; Posser és mtsai., 2018) voltak.

Habár a többszörösen telítetlen zsírsavak több növényi és állati eredetű forrásban is megtalálhatóak, a különböző n-6 és n-3 zsírsavak előfordulása az egyes forrásokban jelentős különbséget mutat (3. táblázat). A növényi olajokban főként LA (C18:2, n-6) és ALA (C18:3, n-3) található, míg a hosszabb szénláncú n-3 zsírsavak (EPA és DHA) elsődleges forrása a halolaj, ezen belül is a tengeri és ragadozó halak olaja, valamint a tengeri algák. A takarmányozásban alapvető összetevőként használt gabonamagvak n-3 zsírsavtartalma elhanyagolható, a repce és a szója ugyanakkor nagyobb mennyiségű ALA-t tartalmaz (Rodríguez és mtsai, 2019).

3. táblázat. Az állatok takarmányozásában alkalmazható többszörösen telítetlen zsírsavforrások (Palmquist, 2009 után).

Zsírsavforrás	LA (18:2n-6)	ALA (18:3n-3)	EPA (20:5n-3)	DHA (22:6n-3)
g/kg szárazanyag				
Repceolaj	180	90	-	-
Szeklice olaj	150	310	-	-
Szójaolaj	530	80	-	-
Lenmagolaj	160	530	-	-
Menhaden olaj	11	15	122	79
Heringolaj	11	7	68	58
Tonhalolaj	15	4	57	224
Lazacolaj	12	6	120	138
Tengeri alga	-	27	8	250

LA = linolsav; ALA = alfa-linolénsav; EPA = eikozapentaénsav; DHA = dokozahexaénsav.

2.6.1. Növényi zsírsavforrások

Az egyes szeklice fajok, valamint a lenmag is jelentős mennyiségű ALA-t tartalmaz (Rossi és mtsai, 2010), de a sertéstakarmányozásban, valószínűleg a megtermelt mennyiségnek köszönhetően csak a lenmag és a lenmagolaj terjedt el. Egy közelmúltban elvégzett kutatás alapján a kocák szoptató takarmányának lenmagliszttel vagy lenolajjal történő kiegészítése javította a szopósmalacok átlagos napi testtömeg gyarapodását, ezáltal a malacok választási tömegét, hasonló n-6/n-3 aránnyal bíró halolaj kiegészítéssel szemben (Eastwood és mtsai, 2014). A szerzők 2016-ban nagyon hasonló kísérleti beállítás mellett azonban nem tapasztaltak különbséget a lenmaggal/lenolajjal, illetve halolajjal etetett tenyészkocák malacainak teljesítménye között.

2.6.2. Állati zsírsavforrások

Az állati eredetű zsírok közül a legtöbbet alkalmazott n-3 zsírsavforrás a halolaj (lazac, tonhal, menhaden olaj stb.) (Lee és mtsai, 2019a). A halolaj jelentős mennyiségű EPA-t (C20:5n-3), DPA-t (C22:5n-3) és DHA-t (C22:6n-3) tartalmaz, amelyek együttesen a halolajban található összes zsírsav körülbelül 15-25%-át teszik ki (Tang és mtsai, 2019), de a két zsírsav aránya jelentős eltéréseket mutat az egyes halfajokban, ahogy az a 2. táblázatban is látható. A halászat következtében a világtengerek halállományának jelentős mértékű csökkenése miatt a halolaj világpiaci ára folyamatosan emelkedik. Részben ennek következtében az előállított halolaj jelentős része ma már tenyésztett halakból származik. A tenyésztett halakkal történő halolajelőállításnak többek között az is kedvez, hogy ezeknek az állatoknak az olajában nagyobb az n-3 zsírsavak mennyisége, mint vadon élő társaikéban (pl. atlanti lazac (*Salmo salar*)) (Blanchet és mtsai, 2005).

2.6.3. Egyéb n-3 zsírsavforrások

Számos tengeri alga olaja szintén alkalmas a takarmányok n-3 zsírsavtartalmának növelésére (Leonard és mtsai, 2011), de az algakészítmények magas ára miatt ezek a források egyelőre csak kis mennyiségben használatosak. Az egyes tengeri alga nemzetségekbe (pl. Schizochytrium, Thraustochytrids, Aurantiochytrids, Oblongiochytrids és Aplanochytrids) tartozó fajok főként DHA-t tartalmaznak, de mérsékelt formában ALA-, valamint EPA-forrást is jelenthetnek a sertések számára (Posser és mtsai, 2018; Lee és mtsai, 2019b). Felhasználásuk korláta azonban, hogy a tengeri algák sejtfala monogasztrikus állatok számára nehezen emészthető, így a bennük található nagy mennyiségű DHA hasznosulása viszonylag alacsony (Posser és mtsai, 2018).

2.6.4. Az n-3 zsírsavak adagolása

A különböző n-3 zsírsavak hatását a sertések teljesítményére és a sertéshúsból készült termékek minőségére széles körben vizsgálták. Ogluszka és mtsai. (2020) a sertések vázizmaiban található TRF1 telomérköző fehérje szintjét elemezték ALA kiegészítés hatására. Komprda és mtsai. (2020) a halolaj sertésszövetek n-3 zsírsavtartalmára és a vérplazma egyes biokémiai paramétereire gyakorolt hatását vizsgálták.

Számos kutató vizsgálta emellett, hogy mekkora mennyiségben érdemes a sertéstakarmányokat n-3 zsírsavakkal kiegészíteni. A vizsgálatok eredményei alapján úgy tűnik, hogy az n-6 és n-3 zsírsavak aránya mellett, az említett zsírsavak abszolút mennyisége is fontos. Általánosságban elmondható, hogy a világszerte etetett sertéstakarmányok jóval több n-6 zsírsavat tartalmaznak, mint n-3-at, ami a nagy mennyiségben alkalmazott kukoricának köszönhető. Más

összetevőkkel, mint például a szója vagy a repce viszont csökkenthető az n-6 zsírsavak hegemoniája és így a késztakarmányok n-6/n-3 zsírsavaránya.

A kocák takarmányainak ALA-val történő kiegészítése az elvégzett kísérletek eredményei alapján változatos képet mutat. A nagyobb dózisban etetett ALA jobb eredményeket ad, de emellett fontos az esszenciális n-6 zsírsavak jelenléte is a takarmányokban. Gunnarsson és mtsai. (2009) egy teljes szaporodásbiológiai cikluson keresztül (választástól - választásig) etettek tenyészkocákat 10 g/kg takarmány dózisban lenolajjal, ami a kontroll csoport 11,04 n-6/n-3 zsírsavarányát 1,95-re csökkentette a kísérleti csoportban. Ugyanakkor nem találtak szignifikáns eltérést a kezelt csoportban sem az alomméretben, sem a malacok születés kori testtömegében. De Quelen és mtsai. (2010) a vemhesség alatt 15 g/kg dózisban, míg a szoptatás alatt 55 g/kg dózisban alkalmaztak lenolajat anélkül, hogy pozitív hatást észleltek volna akár az alomméretre, akár a malacok átlagos születés kori tömegére, illetve azok napi testtömeggyarapodására. Farmer és mtsai. (2010) ellenben azt találták, hogy 10 g/kg lenmag etetése pozitív hatással volt a választás előtti szopósmalac elhullásra a negatív kontroll csoporthoz képest. Rosero és mtsai. (2016) különböző dózisokban, de együtt alkalmazták a LA-at és az ALA-at (LA: 21, 27, 33 g/kg takarmány; ALA: 15, 30, 45 g/kg takarmány) és azok bizonyos kombinációinak hatását vizsgálták a következő fialás eredményeire, miközben az n-6 és az n-3 zsírsavak aránya 22:1 és 5:1 között változott. A legjobb eredményeket az LA és az ALA legmagasabb dóziséknél tapasztalták. Ezzel összhangban Eastwood és mtsai. (2014) a szoptató koca takarmány lenmagliszttel és a lenolajjal történő kiegészítését, akkor találta a legelőnyösebbnek a malacok napi testtömeggyarapodása és választás kori tömege szempontjából, ha a takarmányok n-6/n-3 aránya 5, illetve 7 volt. Ezzel szemben a magasabb arányú lenmagliszt, lenolaj kiegészítés (n-6/n-3 = 1) kevésbé volt hatékony, az n-6/n-3 = 7 zsírsavarányú negatív kontrollal vagy az n-6/n-3 = 5 -arányú lazacolaj kiegészítéssel összehasonlítva.

Rooke és mtsai. (2001a; 2001c) lazacból és tonhalból származó halolajat etettek, ami (16,5–17,5 g/kg takarmány) pozitívan befolyásolta a választás előtti szopósmalac elhullást és a malacok fejlődési erélyét. Papadopoulos és mtsai. (2009) 20 g/kg halolajat etettek napraforgó- és szójaolaj keverékkel szoptató kocákkal, de a negatív kontrollcsoporthoz képest nem találtak különbséget a malacok teljesítményében, annak ellenére sem, hogy az n-6/n-3 arány 10,13-ról 2,09-re csökkent. Matteo és mtsai. (2009) jóval kisebb dózisban (2 g/kg takarmány), de mikrokapszulázott (védett) formában etettek halolajat kocasüldőkkel a vemhesség második felében, valamint a szoptatás alatt és kedvező változást tapasztaltak a malacok születés kori testtömegében és testtömeggyarapodásában. Eredményeik arra utalnak, hogy az n-3 zsírsavak kisebb dózisú alkalmazása is eredményes lehet, amennyiben a zsírsavak forrásának és az etetés időpontjának megválasztása megfelelő. Leonard és mtsai. (2011) a vemhesség 109. napja és a választás között tengeri hínárból

származó olajat (10 g állat/nap), valamint halolajat (100 g/állat/nap) etettek tenyészkocákkal, ami igen magas n-3 zsírsavbevitelt jelentett. (kb. 40 g EPA és 25 g DHA/állat/nap). A rövid ideig tartó, de nagymennyiségű n-3 zsírsav etetés nem volt hatással az állatok teljesítménymutatóira, de jelentősen növelte az n-3 zsírsavak arányát a kocatejben és a malacok vérszérumában a választás időpontjában.

Smits és mtsai. (2011) 3,3 g/kg dózisban etettek lazacolajat tenyészkocákkal a szoptatás alatt és a következő fialás eredményeinek (pl. élve született malacok száma) javulását figyelték meg. A kísérlet során a kísérleti csoport takarmányának n-6/n-3 aránya 15,1-ről 9,5-re csökkent a kontrollal szemben, ami azt jelzi, hogy az n-6 és n-3 zsírsavak 10:1 körüli aránya már elegendő lehet a termelési paraméterek javulásának elősegítéséhez. Egy későbbi tanulmányban Smits és mtsai. (2013) különböző dózisban etettek halolajat (3 és 10 g/kg takarmány) kocasüldőkkel és azt találták, hogy a nagyobb dózissal szemben a kisebb mennyiségű halolajetetés volt kedvezőbb hatással az embriók túlélési arányára. Ezek az eredmények szintén azt mutatják, hogy bizonyos esetekben előnyösebb lehet az n-3 zsírsavak kisebb dózisú etetése és a takarmány közepes n-6/n-3 aránya.

A tengeri algákban található n-3 zsírsavak hatásait szintén számos kutató vizsgálta az elmúlt időszakban. Webel és mtsai. (2003), valamint Spencer és mtsai. (2004a) 85 g tengerialga-kivonatot alkalmaztak és kedvező eredményeket kaptak az embriók túlélési esélyénél és a követő fialás alomlétszámánál tenyészkocák és kocasüldők esetében. A kísérletekben felhasznált tengerialga-kivonat kb. 120 g/kg DHA-t tartalmazott, ami több mint 10 g DHA bevitelnek felel meg naponta állatonként és kb. 100 g halolaj DHA tartalmával egyenértékű. Smit és mtsai. (2012) közel azonos dózisban (84 g/állat/nap) etették a korábban már említett tengerialga-készítményt kocasüldőkkel a vemhesség második felében és a szoptatás alatt, idézett szerzők nem tapasztaltak pozitív hatást az állatok és malacaik teljesítményére, viszont nagyobb méretű sárgatestek jelenlétét figyelték meg a kísérleti csoport kocáinak petefészkein. Egy későbbi tanulmányban Smit és mtsai. (2015) nem találtak különbséget a kontroll és a kísérleti csoport között a választástól - választásig történő kisebb mennyiségű (3 g/kg takarmány) tengerialga-kivonat etetésének hatására. Posser és mtsai. (2018) szintén az említett tengerialga-kivonatot etették tenyészkocákkal a vemhesség végétől a következő termékenyítésig, különböző arányokban. Pozitív hatást azonban csak a legmagasabb mennyiség etetésénél tapasztaltak (28 g tengerialga-kivonat/állat/nap, ami napi 3,36 g DHA-nak felelt meg), akkor is csak a következő fialás alomtömegére. A fent említett vizsgálatok alapján úgy tűnik, hogy a nagy DHA tartalmú tengeri algák etetésének hatása van a sertések szaporodásbiológiai folyamataira, amely pozitív korrelációban van az alkalmazott dózissal.

Az n-3 zsírsavakban gazdag források mellett, mint a lenolaj, a halolaj, vagy a tengerialga, más olaj/zsírforrások hatásait is tesztelték a kocák szaporodásbiológiai teljesítményére és a kocatej

összetételére. Peng és mtsai. (2019) azt találták, hogy a vemhes kocák takarmányának 2%-os szójaolajjal történő kiegészítése nem javította jelentősen a kocák és malacok teljesítményét, de pozitív hatással volt a kolosztrum minőségére, a szoptatás során termelődő prolaktin koncentrációjára, a malacok vékonybelének morfológiájára és a malacok immunitására. Ezen a területen azonban még további, különböző zsírsavforrásokkal és dózissal végzett vizsgálatra van szükség.

2.7. A koca tejének zsírsavprofilja

A koca tejének zsírsavprofilját a malacok által felvehető tápanyagok és a malacok túlélési esélyének kapcsán vizsgálják a kutatók. Optimális zsírsavösszetételt eddig még nem sikerült meghatározni, mivel az egyes zsírsavak mennyiségét és egymáshoz viszonyított arányukat több tényező is befolyásolhatja. Ilyen tényezők a szoptatás ideje alatt etetett koca takarmány, a laktáció stádiuma, vagy a fajta (Ren és mtsai, 2021).

A 4. táblázat négy különböző fajta (Nagyfehér, Lapály, Duroc és Peitrain) tejének zsírsavösszetételét mutatja be a laktáció 15 napján. A táblázat adatai alapján a tejben található zsírsavak mintegy 32-36%-a telített zsírsav (SFA). Az egyszeresen telítetlen zsírsavak (MUFA) aránya 39-40%, míg a többszörösen telítetteké (PUFA) 24-28%. A MUFA közel 80%-a olajsav (C18:1n-9), a PUFA-k közül a linolsav (C18:2n-6) kb. 90%, ami a kukorica magas részaránya miatt jellemző a koca a takarmányokra.

4. táblázat. Különböző fajtájú kocák tejének zsírsavösszetétele (Ren és mtsai, 2021 alapján).

Vizsgált zsírsavprofil (az összes zsírsav %-a)	Nagyfehér	Lapály	Duroc	Peitrain
C12:0	0,1 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,4 ± 0,0	0,3 ± 0,0
C14:0	2,3 ± 0,1	3,4 ± 0,0	3,5 ± 0,0	3,5 ± 0,0
C16:0	23,6 ± 0,1	26,3 ± 0,1	26,9 ± 0,1	25,9 ± 0,0
C18:0	5,3 ± 0,2	3,9 ± 0,2	4,5 ± 0,0	4,3 ± 0,2
ΣSFAs	32,3 ± 0,1	35,0 ± 0,1	36,3 ± 0,1	35,1 ± 0,3
C16:1	6,6 ± 0,1	9,6 ± 0,1	9,6 ± 0,1	10,3 ± 0,3
C18:1 (n-9c)	32,8 ± 0,3	29,6 ± 0,2	28,7 ± 0,3	29,1 ± 0,4
ΣMUFAs	39,8 ± 0,4	39,9 ± 0,2	39,4 ± 0,3	40,3 ± 0,1
C18:2 (n-6c)	24,9 ± 0,5	22,8 ± 0,2	22,0 ± 0,1	22,2 ± 0,2
C18:3 (n-3)	0,8 ± 0,0	0,9 ± 0,0	1,2 ± 0,0	0,8 ± 0,0
C20:2 (n-6)	0,8 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0
C20:3 (n-6)	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0
C22:5 (n-3)	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0
C22:6 (n-3)	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,2 ± 0,0
ΣPUFAs	27,9 ± 0,5	25,2 ± 0,2	24,5 ± 0,2	24,6 ± 0,2

SFAs, telített zsírsavak; MUFAs, egyszeresen telítetlen zsírsavak; PUFAs, többszörösen telítetlen zsírsavak

2.8. Az n-3 zsírsavak kocatej érzékszervi tulajdonságaira gyakorolt hatásainak vizsgálati lehetőségei elektronikus orr módszerrel

A kocák takarmányozásában bekövetkezett változások nemcsak a kocatej összetételét, hanem annak érzékszervi tulajdonságait is befolyásolhatják, amint azt a tehéntej esetében többen is megállapították (Urbach 1990; Let és mtsai, 2005; Palmquist 2009; Tóth és mtsai, 2019). Ezért indokolt lehet a halolaj-kiegészítés aromamódosító hatását elemezni a kocatej esetében is. A gázszenzorokon alapuló mesterséges orr alkalmazását először Persaud és Dodd (1982) a Warwicki Egyetem munkatársai javasolták és a később elektronikus orrnak elnevezett készüléket úgy határozták meg, mint amely képes felismerni és elkülöníteni az egyszerűbb és összetettebb szagokat. A készülék elnevezése az emlősök szaglórendszerével meglévő hasonlóságból ered. Érzékeli és elektronikus jelekké alakítja a szagokat, majd a jeleket egy vele összeköttetésben álló számítógépnek továbbítja, amely rögzíti és elemzi az adatokat, illetve képes megjeleníteni az egyes szagok közti különbségeket. A gyakorlatban leggyakrabban használt elektronikus orr rendszerek fémoxid félvezető (metal oxide semiconductor, MOS) érzékelőkkel rendelkeznek. Ezek a félvezető szenzorok a felületükön képesek gáz-, illetve gőzmolekulákat megkötni, amelyek megváltoztatják az érzékelők elektromos ellenállását. Az elektronikus orral összeköttetésben álló szoftver a különböző molekulák által okozott ellenálláskülönbség feldolgozása révén képes az egyes szagokat elkülöníteni egymástól. Az általánosan használt érzékelők közé tartoznak a kvarckristály érzékelők és a vezetőképes polimerek. A különböző anyagok vizsgálatához összeállított többféle szenzor (ún. szenzorsorok) alkalmazásával a vizsgált gáz vagy gőz összetételéről nyerhető információ, amely leírja az adott anyag aromaprofilját (Aouadi és mtsai, 2020). Az ismert összetételű vagy előre definiált csoportba tartozó mintákról felvett elektronikus orr adatok komplex matematikai-statisztikai feldolgozása lehetőséget ad új minták jellemzésére (Zaukuu és mtsai, 2020). A gázkromatográfia (GC) fejlődésének köszönhetően, ma már ultragyors, GC elven működő elektronikus orr készülékek is rendelkezésre állnak. A korábban említett technológiákkal ellentétben, amelyekkel általános szag-ujjlenyomat határozható meg, viszont csekély a szagmolekulák pontos azonosításának lehetősége, a GC alapú elektronikus orr rendszerek lehetővé teszik a szagokat okozó illékony molekulák azonosítását is megfelelő referencia adatbázis segítségével (Kovács és mtsai, 2020).

Tóth és mtsai. (2019) fémoxid félvezetőből készült szenzorsorokkal felszerelt elektronikus orral határozták meg a tejelő tehének takarmányának lemaggal és halolajjal történő kiegészítésének hatását a tej érzékszervi tulajdonságaira. Megállapították, hogy az extrudált lenmag és a halolaj etetése megváltoztatta a tejminták illatprofilját és a változást elektronikus orr rendszer segítségével írták le. Elektronikus orr mérések alapján Falchero és mtsai. (2009) az alpesi szarvasmarhatej tökéletes osztályozását mutatta be két vegetációtípus szerint, míg Amari és mtsai.

(2009) a különböző gazdaságokból származó és különböző ideig tárolt tehéntej szagbeli különbségeit írták le.

3. SAJÁT VIZSGÁLATOK

3.1. A kísérletek célkitűzései

Kutatásom alapvető célja olyan takarmányozási módszer kifejlesztése volt, ami javíthatja a nagy teljesítményű kocák szaporodásbiológiai mutatóit és ezáltal gazdaságosabbá teheti termelésüket. Ennek érdekében kutatásom fő célkitűzése az n-3 zsírsavak sertések szaporodásbiológiai folyamataira gyakorolt hatásainak eddig nem alkalmazott módszerekkel történő vizsgálata volt, hogy az így kapott vizsgálati eredményekkel tovább lehessen bővíteni a sertések szaporodásával és takarmányozásával kapcsolatos ismereteket.

A vizsgálatok célkitűzései a következők voltak:

1. Célom volt megvizsgálni, hogy 6,3 g/kg dózisban etetett halolaj milyen hatással van a Dán nagyfehér × Dán lapály genotípusú tenyészkocák tejének táplálóanyagtartalmára és zsírsavösszetételére kukorica-szójadara alapú takarmányozás mellett.
2. Vizsgálatokat végeztem arra vonatkozóan, hogy az ultragyors gázkromatográfiára alapozott elektronikus orr alkalmas-e a halolaj, illetve egyéb takarmánykomponensek illatmódosító hatásának kimutatására, valamint, hogy a különböző dózisban etetett halolaj idéz-e elő változást a kocatej és az egyes kiegészítő és keveréktakarmányok illatprofiljában.
3. Több kísérletben vizsgáltam, hogy a különböző dózisban etetett halolaj milyen hatással van a tenyészkocák takarmányfelvételére, szaporodásbiológiai paramétereire, illetve a kocák és malcaik termelési mutatóira. Célom volt továbbá felmérni, hogy az n-3 zsírsavakban gazdag halolaj rövid (szoptatás alatt), de nagyobb dózisban- (6,3 – 12,6 g/kg takarmány), vagy a hosszú távú (fialástól – fialásig), de kisebb dózisban (3,15 g/kg) történő etetése előnyösebb-e a tenyészkocák számára.
4. Céljaim között szerepelt a halolaj 6,3 g/kg dózisban, a szoptatás és a vemhesség első harmada során történő, a tenyészkocák szervezetében zajló lipidpreoxidációs folyamatokra és az antioxidáns rendszer működésére gyakorolt hatásainak vizsgálata, a vér malondialdehid (MDA) és glutation (GSH) szintjének változása, valamint a glutation-peroxidáz (GPx) aktivitásának alakulása révén.
5. Megvizsgáltam, hogy a 6,3 g/kg dózisban történő halolajkiegészítés milyen hatással van a tenyészkocák szaporodásbiológiai szempontból fontos hormonjainak (17 β -ösztadiol, progeszteron, 6-keto-prosztoglandin F1 α) szintjére a különböző termelési fázisokban.

3.2. Az elvégzett kísérletek

Az irodalmi áttekintésben ismertetésre került, hogy a modern, nagy teljesítményű kocákra a nagy alomlétszám miatt jelentős mértékű embrióelhalás és fiatatói elhullás jellemző. A szakirodalmi adatok alapján az n-3 zsírsavak alkalmazása révén ezek a problémák csökkenhetnek, ami javíthatja a termelés gazdaságosságát.

A vizsgálataim során három helyszínen, különböző tartási és takarmányozási körülmények között folytattam kísérleteket, miközben megváltoztattam a takarmányba kevert n-3 zsírsavak mennyiségét, a termelési fázisokat és az etetés hosszát. A vizsgálatokból kettő klasszikus nagyüzemi, míg egy kis állatlétszámmal elvégzett teszt volt.

Az első nagyüzemi kísérlet során a kocák szaporodásbiológiai teljesítményét nem csak a termelési mutatók (vemhesülési - fialási százalék, élve született malacok száma, stb.) alapján, hanem a kocák lipidperoxidációs folyamatainak valamint antioxidáns rendszerének, illetve hormonális működésének vizsgálatával is célom volt felmérni. A kocák 6,3 g/kg takarmány dózisban kaptak n-6, illetve n-3 zsírsavakat tartalmazó napraforgóolajat, valamint halolajat a szoptatás, a választástól az első sikeres termékenyítésig, majd a vemhesség első harmada során.

Az n-3 zsírsavak, a kocák szervezetében jelentkező oxidatív stressz mértékére gyakorolt hatását a malondialdehid (MDA) és redukált glutation (GSH) szintjének, valamint a glutation-peroxidáz (GPx) aktivitásának monitorozásával végeztem el.

A hormonális vizsgálatok során, szaporodásbiológiai markerként a 17β -ösztadiol (E2), a progeszteron (P4) és a 6-keto-prostaglandin $F1\alpha$ (6-keto-PGF 1α) vérszintjét vizsgáltam. Az E2 a legfontosabb Graaf-tüsző hormon, amely döntő szerepet játszik a tüszők növekedésében és fejlődésében. Az ovuláció után a sárgatestek által termelt P4 válik nagy jelentőségűvé, amely a vemhesség fenntartásáért felelős. A PGF 2α részt vesz a belső ivarszerveket felépítő simaizmok összehúzódnásának szabályozásában, és luteolízist (a sárgatest regressziója) okoz az ivarzási ciklus végén, ha nem történt megtermékenyülés. Mivel a PGF 2α gyorsan lebomlik a szervezetben, így nehezen detektálható, ezért annak stabil metabolitját a 6-keto PGF 1α -nak a szintjét vizsgáltam.

A szakirodalom több helyen említi, hogy a többszörösen telítetlen zsírsavak a kocatejjel átjutnak az utódok szervezetébe is (Fritsche és mtsai, 1993). Ennek ismeretében célom volt különböző módszerekkel megvizsgálni az n-3 zsírsavak hatását a kocatej táplálóanyagtartalmára, zsírsav-összetételére és illatprofiljára. Ez utóbbi vizsgálata elektronikus orr (EN) segítségével történt, amire vonatkozó eredményeket még nem tartalmaz a szakirodalom.

A második, kis létszámú tesztben, a korábbihoz képest emelt dózisban (12,6 g/kg takarmány), de csak a szoptatás alatt kaptak a kocák n-6, illetve n-3 zsírsavakat tartalmazó napraforgó-, illetve halolajat, két egymást követő szaporodásbiológiai ciklus során. Ebben a kísérletben a kocák és malacaik termelési mutatóinak monitorozása mellett, a kísérlet végén a

magas paritásuk miatt kiselejtezett kocák petefészkeinek vizsgálatát is elvégeztem (n=4) a választást követően. A petefészkeken előforduló képletek minőségének és mennyiségének meghatározásával következtetéseket kívántam levonni az etetett n-6 és n-3 zsírsavak petefészkeképletekre gyakorolt hatásáról.

A harmadik szintén nagyüzemi kísérletben a halolaj etetése a korábbiakhoz képest csökkentett dózisban (3,15 g/kg takarmány), de egy teljes szaporodásbiológiai cikluson keresztül zajlott (fialástól-fialásig). A kísérlet elsődleges célja volt a hosszú szénláncú n-3 zsírsavak (EPA, C20:5n-3; DHA, C22:6n-3) alacsony dózisu, de hosszútávú etetésének vizsgálata a tenyészkocák és malacok teljesítményére. A tenyészkocák szaporodásbiológiai eredményei mellett vizsgáltam az n-3 zsírsavak takarmányfelvételre gyakorolt hatását, valamint a malacok termelési mutatóiban bekövetkező változásokat is.

A két utóbbi kísérlet során a nagy n-6, illetve n-3 zsírsavtartalmú kiegészítő takarmányok, valamint a kontroll és kísérleti kocatápok aromaprofiljának elemzését is elvégeztük elektronikus orr segítségével, így igazolva a többszörösen telítetlen zsírsavak illatprofil módosító hatását a sertéstakarmányok esetében.

A kísérleti protokollok, illetve metodikák összeállításánál figyelmet fordítottam arra, hogy a vizsgálatok végén a sertéstenyésztés számára hasznos, gyakorlati tapasztalatok álljanak rendelkezésre, amelyek segíthetnek az n-3 zsírsavak és forrásaik alkalmazásában a gyakorlati sertéstakarmányozás területén.

3.3. Anyag és módszer

3.3.1. Az első kísérlet (kocák és malacaik termelési paramétereit, a kocatej zsírsavösszetétele és illatprofilja, a kocák antioxidáns státusza és hormontermelése)

3.3.1.1. A kísérlet helyszíne

Az első kísérletet egy 2500 kocás, DanBred (Dán nagyfehér × Dán lapály) állománnyal termelő nagyüzemi sertéstelepen végeztük két ismétlésben. A telep 1 hetes batch-menedzsment rendszerben állít elő malacot. 48 férőhelyes fiaztató termekben. A fiaztató termekben és a választás utáni egyedi, illetve csoportos kocaszállásokon a tartási és takarmányozási körülmények az egész telepen azonosak. A kocák takarmányozása a kondíciójuk szerinti takarmányozási görbe alapján történt (térfogat adagolós Big-Dutchman etetők; Big Dutchman International GmbH, Németország) a kísérlet teljes időtartama során, korlátlan vízfogyasztási lehetőség mellett.

3.3.1.2. Takarmányozás

A takarmányozás kukorica-árpa-szójadara alapú volt. A fialás előtti ötödik naptól a kocákat egyedileg takarmányozták és fejenként két egység szoptató teljes értékű takarmánykeveréket kaptak. Egy egységnyi szoptató takarmánykeverék 0,916 kg takarmánynak felelt meg. A fialás napján a kocák nem kaptak takarmányt. A szoptatás első és harmadik napja között 2, 2,1, illetve 2,2 egység takarmánykeveréket kaptak naponta. A szoptatás negyedik napjától a szoptató takarmánykeverék mennyiségét 4,4 egységre emelték, ami naponta további 0,4 egységgel nőtt a maximális elfogyasztott mennyiség eléréséig, ami nem haladhatta meg a napi 12 egységet. A választás és a termékenyítés között a kocák folyamatosan csökkenő mennyiségű vemhes koca takarmánykeveréket kaptak (6-ról 3 egységre) naponta. A termékenyítés és a vemhességvizsgálat között a kocákat kondíció szerint takarmányozták (3,2 - 4,4 egység/állat/nap).

A kontroll, illetve a kísérleti takarmányok összetételét, illetve számított táplálóanyag- és energiatartalmát a 5. táblázat mutatja be. A kísérleti szoptató kocatakarmanykokba 6,3 g/kg dózisban szervesen hordozóra felvitt halolajat (HO) kevertünk, míg a kontrollcsoport azonos mennyiségű, szintén szervesen hordozóra felvitt napraforgóolajat (NO) kapott.

Az olajforrások (napraforgóolaj, halolaj) aránya mind a kontroll, mind a kísérleti kiegészítő takarmány esetében 63% volt, míg a szervesen hordozó (szilícium-dioxid) aránya 37%-ot tett ki. A kiegészítő takarmányok gyártása egy menetben zajlott és gyártás után azonnal kiszállításra kerültek a telep keverőüzemébe. A telep saját takarmánykeverővel rendelkezik, így a kiegészítő takarmányok szoptató tápba keverése helyben történt. Mivel a napraforgóolaj és a halolaj energiatartalma közel azonos és azonos bekeverési arányban kerültek felhasználásra, ezért a

kontroll és kísérleti szoptató tápok izokalorikusnak tekinthetők. A kiegészítő takarmányok az árpadara helyett kerültek a receptbe.

A kísérlet a következő vemhesség 30. napjáig tartott, így a vemhes-koca takarmányba nem volt mód bekeverni a kísérleti és a kontroll kiegészítő takarmányokat (HO, NO). Emiatt azokat „on top”, a kietetett adagon felül kapták naponta az állatok. A szoptató koca takarmánykeverékben alkalmazott dózishoz hasonlóan (kb. 1,0 %), egységesen naponta 36 g szerves hordozóra felvitt halolajat, illetve napraforgóolajat kaptak.

5. táblázat. Az első kísérletben etetett kocatakarományok összetétele és számított táplálóanyagtartalma (az eredeti anyagban)

Összetétel	Szoptató-koca takarmányok		Vemhes-koca takarmányok	
	Kontroll	Kísérleti	Kontroll	Kísérleti
Kukorica (%)	44,00	44,00	22,50	22,50
Árpa (%)	26,70	26,70	51,30	51,30
Szójadara (%)	15,00	15,00	5,00	5,00
Cukorrépa szelet (%)	-	-	12,00	12,00
Napraforgódara (%)	-	-	5,00	5,00
Alphasoy pig 530 (%) ¹	3,00	3,00	-	-
Szárított alma (%)	2,00	2,00	-	-
Hallszt (%)	1,00	1,00	-	-
Vitamin és ásványi premix (%) ^{2,3}	5,30	5,30	3,70	3,70
Állati zsír (%) ⁴	2,00	2,00	0,50	0,50
Halolaj alapú kiegészítő takarmány ⁵ (%)	-	1,00	-	“on top” ⁶
Napraforgóolaj alapú kiegészítő takarmány ⁵ (%)	1,00	-	“on top” ⁶	-
Összesen (%)	100	100	100	100
Táplálóanyag- és energiatartalom (számított értékek – a kiegészítő takarmányok nélkül)				
Szárazanyag (%)	89,25	89,26	89,87	89,87
Emészthető energia (DE _s , MJ/kg)	13,91	13,92	12,39	12,40
Metabolizálható energia (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
SID Lizin ⁷ (%)	0,83	0,83	0,55	0,55
SID Metionin ⁷ (%)	0,28	0,28	0,23	0,23
SID Metionin+Cisztein ⁷ (%)	0,51	0,51	0,43	0,43
SID Treonin ⁷ (%)	0,54	0,54	0,41	0,41

¹Agila (Dánia)

²Szoptató koca takarmány kg-onként tartalmaz: A-vitamin, 15 900 IU; D-vitamin, 1 590 IU; E-vitamin, 90 mg; K-vitamin, 2,1 mg; tiamin, 1,6 mg; riboflavin, 5,3 mg; niacin, 26,5 mg; pantoténsav, 18,6 mg; piridoxin, 3,7 mg; folsav, 0,8 mg; B12-vitamin, 0,03 mg; jód, 1,6 mg; szelén, 0,42 mg; kolin-klorid, 477 mg; cink, 127,2 mg, vas 95,4 mg, mangán 53 mg, réz 21,2 mg; Unimix Dan Lactation, Dánia

³Vemhes koca takarmány kg-onként tartalmaz: A-vitamin, 11 100 IU; D-vitamin, 1 110 IU; E-vitamin, 59,2 mg; K-vitamin, 1,5 mg; tiamin, 1,1 mg; riboflavin, 3,7 mg; niacin, 18,5 mg; pantoténsav, 13 mg; piridoxin, 2,6 mg; folsav, 0,6 mg; B12-vitamin, 0,02 mg; jód, 1,1 mg; szelén, 0,3 mg; kolin-klorid, 333 mg; cink, 88,8 mg, vas 66,6 mg, mangán 37 mg, réz 14,8 mg; Unimix Dan Gestation, Dánia

⁴ATEV (Magyarország)

⁵10 kg kiegészítő takarmányban 6,3 kg halolaj (HO) illetve 6,3 kg napraforgóolaj (ADEXGO Kft., Balatonfüred)

⁶“On top” = 22,5 g kiegészítő takarmány/állat/nap a vemhes teljes értékű takarmánykeverékre szórva

⁷SID Lizin = Standard ileálisan emészthető lizin, SID Metionin = Standard ileálisan emészthető metionin, SID Metionin+Cisztein = Standard ileálisan emészthető metionin + cisztein, SID Treonin = Standard ileálisan emészthető treonin.

A 6. táblázat a kísérletben alkalmazott kiegészítő takarmányok táplálóanyag-tartalmát és zsírsavtartalmát mutatja be. A felhasznált olajforrásokat (HO, NO) szervesen hordozóval (szilícium-dioxid) kevertük össze 63% - 37% arányban. Mivel a halolaj és a napraforgóolaj energiatartalma közel azonos és bekeverési arányuk is egyforma volt, emiatt az etetett takarmányok (szoptató, illetve vemhes koca takarmány) táplálóanyag tartalmában nem volt érdemi különbség.

6. táblázat. Az első kísérletben alkalmazott kiegészítő takarmányok táplálóanyag- és zsírsavtartalma

Táplálóanyag tartalom	NO szervesen hordozón ¹	HO szervesen hordozón ²
Szárazanyag (%)	98,75	98,75
Nyerszsír (%)	61,45	61,93
Nyersfehérje (%)	0,25	0,20
Nyershamu (%)	34,30	34,00
ME _s (MJ/kg takarmány) ³	20,8	20,9
DE _s (MJ/kg takarmány) ³	21,0	21,1
Zsírsavak	mg zsírsav/g takarmány	
C18:2 (n-6)	303,02	23,75
C18:3 (n-3)	0,21	8,80
C20:1 (n-9)	0,99	34,32
C20:2 (n-6)	-	1,61
C20:3 (n-6)	-	0,61
C20:3 (n-3)	-	0,78
C20:4 (n-6)	-	2,28
C20:5 (n-3)	-	47,28
C22:5 (n-3)	-	14,26
C22:6 (n-3)	-	57,89
n-6/n-3 arány	1433,81	0,22

¹NO (kontroll)=napraforgóolaj szervesen hordozón (10 g/kg)

²HO (kísérleti)= halolaj szervesen hordozón (10 g/kg)

³kalkulált értékek

A szoptató és vemhes koca takarmányok zsírsavtartalmát szintén megvizsgáltuk, amit az 7. táblázat mutat be. A bekevert NO, illetve HO miatt a kontroll és a kísérleti szoptató tápok n-6/n-3 zsírsav arányában jelentős különbség (15,08 vs. 7,38) volt. A vemhes tápba technikai okokból nem került bekeverésre kiegészítő takarmány, azt „on-top” adagoltuk.

7. táblázat. Az első kísérletben etetett kocatakarmányok zsírsavtartalma

Zsírsavak	Szoptató-koca takarmányok		Vemhes-koca takarmány
	Kontroll (NO)	Kísérleti (HO)	Kontroll/Kísérleti ¹
	mg zsírsav/g takarmány		
C18:2 (n-6)	15,78	13,70	10,26
C18:3 (n-3)	0,82	0,88	0,59
C20:1 (n-9)	0,18	0,42	0,08
C20:2 (n-6)	0,05	0,06	0,02
C20:3 (n-6)	0,02	0,03	0,01
C20:3 (n-3)	0,01	0,01	-
C20:4 (n-6)	0,07	0,08	0,02
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	17,48

¹Vemhes koca takarmány napraforgóolaj (NO), illetve halolaj (HO) kiegészítés nélkül

3.3.1.3. A kísérletben résztvevő állatok

Az első kísérlet a fiaztató termekbe történő betelepítés után a 110.-114. vemhességi napon kezdődött és a következő vemhesülést követő vemhességi vizsgálattal (ultrahangos diagnosztika) ért véget. A kísérletbe többször fiatal kocákat vontunk be (ellésszám: 2-6). A kocák klasszikus termelési paramétereit 209 kontroll és 176 kísérleti koca adatai alapján lehetett értékelni. Minden koca esetében rögzítettük a termelési mutatókat (jelenlegi fialás során az élve született, halva született és mumifikált malacok száma; a következő fialás során az élve született, halva született és mumifikált malacok száma; a malacok átlagos választási tömege és elhullási %-a az egyes fiaztató termekben; a kocák vemhesülési- és fialási aránya, stb.).

A jelenlegi és az előző fialási adatok alapján (2-4 között paritás, legalább 15 élve született malac, maximum 3 halva született malac, legfeljebb 1 mumifikált malac) hasonló teljesítményű kocák szűkebb csoportját alakítottuk ki. A szűkebb kocacsoport kontroll egyedeinek átlagos ellésszáma $3,28 \pm 0,79$, míg a kísérletieké $3,20 \pm 0,87$ volt.

A szűkebb kocacsoportokból az első ismétlésben 6 kontroll és 5 kísérleti, míg a második ismétlésben 6 kontroll és 7 kísérleti kocától tejmintát gyűjtöttünk (összesen 12-12 minta), amelyeknek vizsgáltuk táplálóanyag- és zsírsavtartalmát. A tejmintát szolgáltató kocák átlagos paritása mindkét csoportban $3,17 \pm 0,83$ volt. A mintavételkor a kontroll csoport átlagos laktációs napjainak száma $13,92 \pm 2,91$, míg a kísérleti állatoké $12,38 \pm 1,48$ nap volt.

A mintavétel előkészítéseként a malacokat szoptatás után elrekesztették anyjuktól. Egy órával később a kocák 10 nemzetközi egység (NE) oxytocin injekciót kaptak intramuszkulárisan (IM), majd a fejés kézzel történt (Noblet és Etienne, 1989). Az állatoktól átlagosan kb. 20-25 ml tejmintát gyűjtöttünk.

Az első ismétlésben 13-13 kocától, míg a másodikban 11-11 kocától (összesen 24-24 koca) alvadásban gátolt vérmintákat vettünk a szoptatás 14. napján, a választást követő 5., valamint a termékenyítés utáni 30. napon.

A vérplazmából és a vörösvértest hemolizátumból meghatároztuk azok fehérjetartalmát, valamint malondialdehid (MDA) és redukált glutation (GSH) szintjét és a glutation-peroxidáz (GPx) aktivitását. A vérszérumból pedig az 17 β -ösztradiol (E2), progeszteron (P4) és 6-keto-PGF1 α szinteket. Állatkísérleti engedélyszám: PE/EA/872-8/2020.

3.3.2. A második kísérlet (kocák és malacaik termelési paraméterei, takarmányok e-orr vizsgálata, petefészekvizsgálat)

3.3.2.1. A kísérlet helyszíne

A második kísérletet a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Élettani és Takarmányozási Intézetének Herceghalmi kísérleti sertéstelepen végeztük. A telepen kb. 100 db, F1 (nagyfehér \times lapály), illetve Hypor (Cora) tenyészkoca termel.

A kísérletet egy ismétlésben, de két egymást követő szaporodásbiológiai ciklusban végeztük (elléstől – a következő választásig). A telep változó méretű kocacsoportokkal dolgozik. A fiaztató termék 16 férőhelyesek, így a kontroll és kísérleti állatok elhelyezése a kísérlet kezdetén egy teremben történt. Választás után a kocák egyedi állásokba kerültek, ahol 30 napig maradtak, ezt követően csoportos kocaszállásokon töltötték a vemhességüket.

A kocák takarmányozása hagyományos, manuális adagolással történt, kondíciójuk szerint. Az állatok vízfogyasztási lehetősége a kísérlet alatt korlátlan volt az egész telepen.

3.3.2.2. Takarmányozás

A második kísérleti telepet külsős takarmányforgalmazó cég takarmányozza. A kocatápok kezelés nélküli, dara szerkezetűek, amelyeket a telep maga kever, a megvásárolt komplett premixekből, gabonamagvakból és fehérjehordozókból. A vemhes koca keveréktakarmányt az állatok a fiaztató istállóba történő áttelepítésig kapják (a várható fialás előtt kb. 1 hét). A fiaztató istállóban a választás előtti napig a kocák szoptató koca takarmányt fogyasztanak. A választás napján az állatokat koplaltatják. A szoptatás átlagosan 28 napig tart, ami alatt a kocák kb. 200 kg szoptató koca takarmányt esznek meg. A vemhes és a szoptató koca takarmányok összetételét és táplálóanyag tartalmát a 8. táblázat mutatja be.

8. táblázat. A második kísérlet kocatakarmányainak összetétele és mért táplálóanyag-tartalma

	Kontroll szoptató koca takarmány	Kísérleti szoptató koca takarmány
Kukorica (%)	30,0	30,0
Árpa (%)	20,0	20,0
Búza (%)	17,0	17,0
Szójadara (%)	18,0	18,0
Napraforgódara (%)	3,0	3,0
Búzakorpa (%)	2,0	2,0
Zsírpor (50%) (%)	4,0	4,0
Premix (4%) (%) ¹	4,0	4,0
Kontroll kiegészítő takarmány (%) ²	2,0	-
Kísérleti kiegészítő takarmány (%) ³	-	2,0
Összesen (%)	100	100
Táplálóanyagtartalom (mért értékek)		
Nedvesség (%)	10,10	10,10
Nyersfehérje (%)	17,05	16,95
Nyerszsír (%)	5,40	5,45
Nyersrost (%)	3,85	3,65
Nyershamu (%)	6,10	5,80

¹Szoptató koca 4%-os premix kg-onként tartalmaz: A-vitamin, 300 800 NE; D-vitamin, 50 130 NE; E-vitamin, 3 510 mg; K-vitamin, 80 mg; C-vitamin, 5 040 mg; Cink, 3 150 mg; Vas, 2 380 mg; Mangán, 1 900 mg; Réz, 510 mg; Jód, 35 mg; Szelén, 12 mg; Vitafort Zrt., Magyarország

^{2,3}20 kg kiegészítő takarmányban 12,6 kg halolaj (HO) illetve 12,6 kg napraforgóolaj (ADEXGO Kft., Balatonfüred)

A kísérlet során két szaporodásbiológiai cikluson keresztül kevertünk n-6 zsírsavakban gazdag napraforgóolajat (kontroll) és n-3 zsírsavakban gazdag halolajat (kísérleti) a szoptató koca takarmányokba, 12,6 g/kg dózisban. A kontroll és kísérleti kiegészítő takarmányok 63% napraforgóolajat, illetve halolajat tartalmaztak, amit 37% szervesen hordozóra (szilícium-dioxid) vittünk fel.

Az első etetés 2020. október-novemberben, míg a második 2021. március-április között zajlott. A nagy n-6 és n-3 zsírsavtartalmú kiegészítő takarmányok bekeverésével párhuzamosan azonos mennyiségű kukoricadara került ki a tápokból, így a kísérlet alatt fogyasztott takarmánykeverékek energiakoncentrációja azonos volt.

A kísérlet során, mindkét ciklusban takarmánymintákat gyűjtöttünk a kontroll és a kísérleti kocatápokból (n=4) és megvizsgáltattuk azok táplálóanyag- és zsírsavtartalmát. A kocatápokban található fontosabb zsírsavcsoportokat a 9. táblázat tartalmazza.

9. táblázat. A második kísérlet szoptató koca takarmányaiban az egyes zsírsavcsoportok arányai

	Kontroll szoptató koca takarmány	Kísérleti szoptató koca takarmány
Telített zsírsavak	19,77	25,24
Egyszeresen telítetlen zsírsavak	32,50	33,54
Többszörösen telítetlen zsírsavak	47,73	41,23
n-6 zsírsavak	45,86	35,56
n-3 zsírsavak	1,88	5,61
n-6/n-3	24,39	6,34

3.3.2.3. A kísérletben résztvevő állatok

A második kísérletbe 8 kontroll és 8 kísérleti kocát vontunk be, amelyek közül 3-3 többször fialt, 5-5 pedig első fialású volt. A kocák ellenőrzési számát, előéletüket és a kísérleti csoportosítást az 10. táblázat mutatja be.

10. táblázat. A második kísérletben résztvevő kocák adatai és előéletük

Kontroll csoport				Kísérleti csoport			
Ellenőrzési szám	Paritás	Utolsó fialás időpontja	Malacok száma ¹	Ellenőrzési szám	Paritás	Utolsó fialás időpontja	Malacok száma ¹
170	1	2020.03.21	13+0=13	1022	5	2020.05.13	12+8=20
1035	4	2020.05.13	8+8=16	1059	3	2020.05.18	14+1=15
2790	10	2020.05.15	16+1=17	1005	8	2020.05.22	14+3=17
196	0	-	-	197	0	-	-
198	0	-	-	200	0	-	-
201	0	-	-	202	0	-	-
204	0	-	-	205	0	-	-
206	0	-	-	207	0	-	-

¹Az élve született, halva született és az összes megszületett malac szám

A kocákat 2020.10.17.-én telepítették a fiasztató termekbe. A fialások 2020.10.20. és 26. között zajlottak. A szoptatás átlagosan 35 napig tartott. A választás után a kocákat egyedi állásokban helyezték el és a választást követő 4.-7. nap között termékenyítették. A fiasztató termekben az alábbi adatokat rögzítettük:

- a kocák be- és kitelepítési testtömege
- a kocák takarmányfogyasztása az ellés előtt és a szoptatás alatt
- a megszületett malacok száma és tömege
- a dajkásítás ideje és az új almok létszáma, tömege
- a választott malacok száma és tömege
- a kocáknál tapasztalható elhullás/kiesés mértéke a szoptatás alatt
- az esetleges kezelések, megbetegedések előfordulása (koca, malac)
- a választás és ivarzás között eltelt idő
- a vemhesülési % a következő szaporodásbiológiai ciklusban
- a megszületett malacok száma és tömege a következő szaporodásbiológiai ciklusban

3.3.2.4. Petefészekvizsgálat

A második kísérlet végén, a választás utáni 5. napon két kocát (2790, 1022), majd a választás utáni 12. napon szintén két kocát selejtezték ki (1035, 1005) és vágtak le a kutatóintézet vágóhídján. Az állatok szétbontása után meghatároztuk a petefészkek méretét, majd megvizsgáltuk a rajtuk található tüszők számát, fejlettségi állapotát, valamint az egyéb hormontermelő képleteket (pl. CL, CH). A vizsgálatokat fényképekkel is dokumentáltuk. A vizsgált kocák fialási előéletét a 11. táblázat mutatja be.

11. táblázat. A második kísérlet petefészekvizsgálatában résztvevő kocák fialási előélete

		Élve született malacok száma	Holt malacok száma	Összes malac
2790	-2 paritás (10)	16	1	17
	-1 paritás (11)	13	4	17
	Legutóbbi paritás (12)	9	0	9
1022	-2 paritás (5)	12	8	20
	-1 paritás (6)	17	0	17
	Legutóbbi paritás (7)	15	1	16
1035	-2 paritás (4)	8	8	16
	-1 paritás (5)	17	5	22
	Legutóbbi paritás (6)	9	4	13
1005	-2 paritás (8)	14	3	17
	-1 paritás (9)	11	1	12
	Legutóbbi paritás (10)	16	0	16

3.3.3. A harmadik kísérlet (kocák és malacaik termelési paramétere, takarmányok e-orr vizsgálata)

3.3.3.1. A kísérlet helyszíne

A harmadik kísérletet egy 2100 kocás, F1 (nagyfehér × lapály), illetve DanBred (Dán nagyfehér × Dán lapály) állománnyal termelő nagyüzemi sertéstelepen végeztük két ismétlésben. A telepen a kocákat hetente termékenyítik. Az egy hét alatt lefialó kocák száma: kb. 80 db, amelyek 42 férőhelyes fiazató termekben kerülnek elhelyezésre, így egy hét alatt két fiazató termet telepítenek be, illetve választanak. A fiazató termekben és a választás utáni egyedi, illetve a csoportos kocaszállásokon a tartási és takarmányozási körülmények az egész telepen azonosak. A kocákat kondíciójuk szerinti takarmányozási görbe szerint takarmányozták a kísérlet teljes időtartama során, korlátlan vízfogyasztási lehetőség mellett.

Az élve született átlagos malacszám kocánként 13,5 db (süldőnél 12,5 db). A dajkásításra 24 óra elteltével kerül sor. A malacok kiegészítő táplálása tejítató rendszerrel történik.

3.3.3.2. Takarmányozás

A harmadik kísérletet egy teljes szaporodásbiológiai cikluson keresztül (szoptatás-vehhesség-fialás) végeztük, két egymást követő ismétlésben. A kísérlet takarmányozási szempontból három részre oszlott.

- 1. szakasz: a szoptatás alatt a kísérleti állatok 3,15 g/kg takarmány dózisban szervesen hordozóra felvitt halolajat kaptak aromatiszt kiegészítő takarmány formájában a szoptató koca takarmányba keverve.
- 2. szakasz: a választás és a vemhességvizsgálat közötti időszakban a kísérleti állatok 3,15 g/kg takarmány dózisban szervesen hordozóra felvitt halolajat kaptak aromatiszt kiegészítő takarmány formájában a szoptató kocata takarmányba keverve.
- 3. szakasz: a vemhességvizsgálat és a fiaztató termekbe történő telepítés között a kísérleti állatok 3,15 g/kg takarmány dózisban szervesen hordozóra felvitt halolajat kaptak a szoptató kocata takarmányba keverve.

A kontroll csoportok takarmányai nem tartalmaztak kiegészítést. A kontroll csoportok takarmányai (szoptató és búgató kocatápok) ugyanakkor nagy arányban tartalmaztak extrudált lenmag alapú kiegészítő takarmányt (45 g/kg takarmány). A kísérleti kiegészítő takarmányok minden esetben azonos mennyiségű 5 g/kg extrudált lenmag alapú kiegészítő takarmány helyett kerültek bekeverésre a kocák takarmánykeverékeibe.

A kísérlet során etetett koca teljes értékű takarmánykeverékek összetételét és táplálóanyag-tartalmát a 12. táblázat mutatja be.

12. táblázat. A harmadik kísérlet kocatápjainak összetétele és mért táplálóanyag tartalma

	Vemhes Kontroll	Vemhes Kísérleti	Szoptató Kontroll	Szoptató Kísérleti	Búgató Kontroll	Búgató Kísérleti
Kukorica (%)	20,00	20,00	39,25	39,25	38,20	38,20
Extrahált szójadara (%)	13,00	13,00	18,00	18,00	10,00	10,00
Búza (%)	11,00	11,00	12,00	12,00	9,00	9,00
Árpa (%)	34,50	34,50	10,00	10,00	18,00	18,00
Easylin 100-20 (%) ¹	0,50	-	4,50	4,00	4,50	4,00
Zsírpor 40% (%) ²	-	-	6,00	6,00	-	-
Lucernaliszt (%)	9,50	9,50	3,00	3,00	7,00	7,00
Száritott répaszelet (%)	8,00	8,00	-	-	6,00	6,00
Halliszt 70% (%)	-	-	2,50	2,50	2,50	2,50
224-457 VK 1% PR (%) ³	1,00	1,00	-	-	-	-
224-857 SZK 1,5% PR (%) ⁴	-	-	1,50	-	1,50	-
224-858 SZK 1,5% PR (%) ⁵	-	-	-	1,50	-	1,50
Takarmánymész (%)	0,50	0,50	1,10	1,10	0,70	0,70
MCP (%)	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
ADEXGO porított halolaj (%) ⁶	-	0,50	-	0,50	-	0,50
Adisodium (%) ⁷	0,10	0,10	0,25	0,25	0,20	0,20
Neopig S (%) ⁸	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Panacid cBS (%) ⁹	-	-	0,20	0,20	-	-
Takarmánysó (%)	0,30	0,30	0,20	0,20	0,30	0,30
Mycrosorb A+ (%) ¹⁰	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
MgO (%)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Összesen (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Táplálóanyag-tartalom (mért értékek)	Vemhes Kontroll	Vemhes Kísérleti	Szoptató Kontroll	Szoptató Kísérleti	Búgató Kontroll	Búgató Kísérleti
Szárazanyag (%)	92,00	91,25	90,75	91,35	90,75	90,60
Nyersfehérje (%)	14,45	14,45	16,70	16,50	13,85	14,30
Nyerszsír (%)	2,25	2,55	6,20	6,35	3,60	3,60
Nyersrost (%)	7,35	7,00	5,10	4,50	5,20	4,80

¹Noack Kft. (Magyarország)/Valorex (Franciaország)

²EPF Kft. (Magyarország)/AGRIENT Kft. (Magyarország)

³Vemhes koca 1%-os premix kg-onként tartalmaz: A-vitamin, 1 200 000 NE; D-vitamin, 200 000 NE; E-vitamin, 10 000 mg; K-vitamin, 300 mg; B1-vitamin, 200 mg; B2-vitamin, 700 mg; B5-vitamin, 1800 mg; B6-vitamin, 500; B12-vitamin, 4 mg; Folsav, 200 mg; Biotin, 40 mg; Nikotinsav, 3250 mg; C-vitamin, 5213,25 mg; Cink, 12896 mg; Vas, 10369 mg; Mangán, 5616 mg; Réz, 3122 mg; Jód, 139 mg; Szelén, 44,2 mg; Vitafort Zrt., Magyarország

⁴Szoptató koca 1,5%-os premix Aroma + K-mix kg-onként tartalmaz: A-vitamin, 800 040 NE; D-vitamin, 133 340 NE; E-vitamin, 9 334 mg; K-vitamin, 220 mg; C-vitamin, 13 406 mg; Cink, 8 390 mg; Vas, 6 320 mg; Mangán, 5 060 mg; Réz, 1 360 mg; Jód, 92 mg; Szelén, 30 mg; Vitafort Zrt., Magyarország

⁵Szoptató koca 1,5%-os premix kg-onként tartalmaz: A-vitamin, 800 040 NE; D-vitamin, 133 340 NE; E-vitamin, 9 334 mg; K-vitamin, 220 mg; C-vitamin, 13 406 mg; Cink, 8 390 mg; Vas, 6 320 mg; Mangán, 5 060 mg; Réz, 1 360 mg; Jód, 92 mg; Szelén, 30 mg; Vitafort Zrt., Magyarország

⁶Az 5 kg porított termék 3,15 kg halolajat tartalmazott (ADEXGO Kft., Magyarország)

⁷Adisseo (Franciaország)

^{8,9}NeoCons Plus Kft. (Magyarország)

¹⁰Alltech (Írország)

Mind a kontroll, mind a kísérleti csoportok takarmányaiban elemeztük a zsírsavösszetételt.

A vizsgálatok eredményeit a 13. táblázat mutatja be.

13. táblázat. A harmadik kísérlet kocatápjainak zsírsavösszetétele

	Kontroll szoptató koca takarmány	Kísérleti szoptató koca takarmány
Telített zsírsavak	17,28	19,74
Egyszeresen telítetlen zsírsavak	35,82	33,48
Többszörösen telítetlen zsírsavak	46,90	46,79
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	3,98	3,30
	Kontroll búgató kocatáp	Kísérleti búgató kocatáp
Telített zsírsavak	17,02	17,80
Egyszeresen telítetlen zsírsavak	25,23	26,76
Többszörösen telítetlen zsírsavak	57,75	55,44
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	2,42	2,25

	Kontroll vemhes koca takarmány	Kísérleti vemhes koca takarmány
Telített zsírsavak	20,24	21,48
Egyszeresen telítetlen zsírsavak	23,98	25,33
Többszörösen telítetlen zsírsavak	55,79	53,20
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	10,03	8,24

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

3.3.3.3. A kísérletben résztvevő állatok

A harmadik kísérletbe ismétlésenként és kezelésenként 84 tenyészkocát vontunk be (2 fiáztató terem), amelyek közül 161 kontroll és 164 kísérleti állat adatait tudtuk értékelni. A kocák paritása a kísérlet indulásakor 1-8 között volt, de ügyeltünk arra, hogy az egyes kísérleti csoportokban a paritások eloszlása kiegyenlített legyen (1 ism. kontroll: 3,72, kísérleti: 3,60; 2 ism. kontroll: 4,04, kísérleti: 4,08).

A kísérlet során, minden kontroll és kísérleti tenyészkoca ugyanannak az istállónak a fiáztatótermeiben fiált annak érdekében, hogy a környezeti hatásokat kiküszöböljük. A választás után az állatok termékenyítése ugyanazon istálló búgatótermében történt. A vemhesség vizsgálatot követően a kocák csoportos vemhesszállóra kerültek kiscsoportos tartásba (10 koca/csoport).

3.3.4. Kémiai és egyéb analízisek

A tejminták szárazanyag-, zsír- és fehérjetartalmát, valamint a kontroll és kísérleti szoptató, illetve vemhes koca takarmányok kémiai összetételét (szárazanyag, nyersfehérje, nyerszsír, nyersrost és hamu) az Association of Official Analytical Chemists (AOAC 2006) szerint elemeztük. A tejmintákat 4°C-on tároltuk az EN mérések elvégzéséig, ami a fejést követő 24 órán belül megtörtént. A kémiai analízishez a tejmintákat -20 °C-on tároltuk.

A tej (1. kísérlet) és takarmányminták (1., 2., 3. kísérlet) zsírsavösszetételének meghatározása minden kísérletben a következő módszerrel történt: 1 g, illetve 1 ml mintát 40 ml metanol, 6 ml 50%-os NaOH oldat és 1,6 ml belső standard (500 mg nonadekaénsav/100 ml toluol és izopropanol 2:1) hozzáadásával 80 °C-on 60 percig hidrolizáltunk. Lehűtés után a lipideket kloroformmal extraháltuk, majd a kloroformot nitrogéngőz alatt elpárologtattuk. 14%-os bór-trifluorid/metanol oldattal zsírsav-metil-észtereket állítottunk elő, majd 4 ml hexánt adtunk hozzá. Ezután a kémcsövet vortexeltük, és a metil-észtereket tartalmazó felülúszó fázisból 1 ml-t egy borostyán színű üvegpalackban -18 °C-on tároltuk a későbbi elemzésekig. A zsírsav-metil-észterek elemzését gázkromatográffal (GCMS-QP2010 SE; Shimadzu, S.A., Kyoto, Japán)

végeztük és a metil-észterek komponenseket BPX70 kapilláris oszlopon választottuk el (30 m × 0,25 mm × 0,25 μm, Phenomenex, Torrance, CA, USA). A tömegspektroszkópiai (GCMS) analízis paraméterei a következők voltak: 220 °C befecskendezési hőmérséklet; osztott befecskendezési mód; lineáris áramlásszabályozási sebesség; 60,1 KPa nyomás; 45,4 ml/perc teljes áramlási sebesség; 1,03 ml/perc oszlopáram; 37,1 cm/s lineáris sebesség; 3 ml/perc öblítő áramlás; 40-es megosztási arány.

A vérmintákat alvadásban gátolt (EDTA) vércsővekbe vettük le, amelyeket hűtött közegben szállítottunk a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem Élettani és Takarmányozástani Intézetének Takarmánybiztonsági Tanszékére. A vérmintákat 2000 rpm-en 15 percig centrifugáltuk és a vizsgálatokhoz szükséges vérplazmát ezután választottuk el a sejtes elemektől. A sejtes elemekről a fehérvérsejt réteget leszívtuk, majd a vörösvértest hemolizátumot 9-szeres mennyiségű desztillált víz hozzáadásával, ezt követően fagyasztással (-20 °C) és felmelegítéssel (24 °C) állítottuk elő. A vérplazma és vörösvértest hemolizátum mintákat a vizsgálatok elvégzéséig -70 °C-on tároltuk.

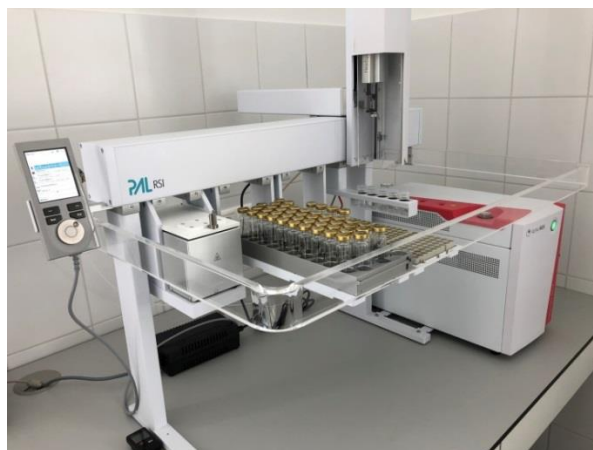
A vérplazma és a vörösvértest hemolizátumok fehérjetartalmát a Weichselbaum (1946) által kifejlesztett biuret módszerrel határoztuk meg. A vérplazma és a vörösvérsejt hemolizátumok GSH tartalmát, fehérjekicsapást (10% w/v triklórectasav) a nem fehérje szulfhidril csoportok 5,5-ditiobisz-2-nitrobenzoesavval történő komplex képzése alapján adtuk meg (Sedlak és Lindsay, 1968). Vérplazma és vörösvértest hemolizátumok Px aktivitását a GSH és kumul-hidroperoxid kosubsztrátokkal végzett direct end-point assay segítségével határoztuk meg (Matkovics és mtsai, 1988). A vérplazma és a vörösvérsejt hemolizátum MDA tartalmát 2-tiobarbitursavval történő komplexképzéssel állapítottuk meg (Placer és mtsai., 1966).

A vérszérum minták hormonvizsgálatát az Állatorvostudományi Egyetem Szülészeti és Szaporodásbiológiai Tanszékének Endokrinológiai Laboratóriumában végeztettük el. A minták progeszteron és ösztrogén kimutatáshoz a laboratóriumban fejlesztett és validált radioimmunoassay-t alkalmazták. Progeszteron: intra-assay CV<5%; inter-assay CV 10,2% (+/- 3,4%); analitikai szenzitivitás: 0.11 nmol/l. 17-β-ösztadiol: intra-assay CV<5%; inter-assay CV 12,3%; analitikai szenzitivitás 1,66 pg/ml. A 6-keto-PGF1α vizsgálatát enzimhez-között immunoassay (ELISA) módszerrel végezték (Abcam, Cambridge, UK): intra-assay CV<8%; inter-assay CV 15,5% (+/- 4.7%); analitikai szenzitivitás 6 pg/ml.

3.3.5. Elektronikus orr mérések

A műszeres aromaprofil vizsgálatokat Alpha MOS Heracles NEO 300 elektronikus orr berendezéssel végeztük (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország). A berendezés a minták kezelését, a gőztér előkészítését és a gőz-/gázminta analízátorba történő injektálását végző PAL-RSI

automatikus mintakezelő egységgel (CTC Analytics AG, Zwingen, Switzerland) felszerelt, két lángionizációs detektorral (FID) és az illékony összetevőket koncentráló csapdával ellátott kétoszlopos ultragyors gázkromatográf. A műszer az UltraClean™ PTFE/szilikon szeptummal ellátott mágnesezett kupakkal (Supelco, Inc., Merck KGaA, Darmstadt, Germany) lezárt, 20 ml térfogatú mintatárolókba helyezett, illékony komponenseket, a minta fölött kialakuló gőztérből analizálja (2. ábra).



2. ábra A mérésekhez használt Alpha MOS Heracles NEO elektronikus orr

A vizsgálatok során minden mintát több párhuzamosban mértünk az elektronikus orral, vizsgálva a mérés ismételhetőségét. A mérésekhez és az adatok előkezeléséhez az AlphaSoft ver. 16 (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország) vezérlő és adatelemző szoftvert használtuk. A mintákról felvett kromatogramokhoz C6-C16 alkánsor retenciós időn alapuló Kováts-féle retenciós indexet (RI) rendeltünk a program előírásai szerint. Az adatok feldolgoása során a kromatogramokban megjelenő csúcsok RI szerinti helyét detektáltuk, majd az egyes csúcsok területét kiszámítottuk. A csúcsok helyzetét a továbbiakban szenzorként értelmeztük, a Kováts-indexszel azonosítható, az adott illékony anyagot jelző szenzorhoz tartozó szagintenzitás értéket pedig a csúcs alatti terület fejezte ki. Az így képzett, illatprofil leíró sokváltozós adatállományt a továbbiakban főkomponens analízissel (PCA) elemeztük. A PCA során kerestük a kiugró mintákat és mérési eseményeket, valamint leírtuk a sokváltozós tér mintázatait. A mintacsoportok közötti, sokváltozós illatprofilban mutatkozó különbségeket a sokváltozós teret dominánsan meghatározó szenzorokkal is jellemeztük. Ezek alapján azonosítottuk az egyes illatkülönbségeket leíró Kováts-indexeket, majd az adott RI-hez tartozó illatanyagokat az AlphaSoft program AroChemBase v7 adatbázisa alapján azonosítottuk. Dolgozatomban az „1-A” jelölés az MXT-5 oszlopon rögzített kromatogramok RI szerinti virtuális szenzorokat jelöli, amely jelölésben az 1 az oszlopra, az A az intenzitásérték számítási módjára (area) utal, míg a „2-A” jelölés az MXT-1701 oszlopon rögzített

kromatogramok szenzorait jelöli. Az AroChemBase szerinti azonosítás mindkét oszlopon talált RI alapján elvégezhető, és a találatok egymást erősíthetik, vagy cáfolhatják.

Az első kísérletből származó kocatejek ($n = 24$) aromaprofilját három ismétlésben vizsgáltuk a mintavételt követő 24 órán belül. A mintákat a mérésekig hűtve ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$) tároltuk. A tejből 1 ml került bemérésre 20 ml-es gőztérüvegcsékbe. Az elektronikus orr (a) mintakezelő és (b) gázkromatográfiás analizátor egységeinek további paraméterei és beállításai: (a) mintakezelő: gőztérképző inkubáció: $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5 perc, 500 rpm agitáció; injektált térfogat: 5 ml; szellőztetés: 90 s; (b) analizátor: kolonnák típusai: (1) Restek MXT-5: hossz 10 m, belső átmérő 0,18 mm, vastagság 0,40 μm , alacsony polaritású állófázis 5% difenil/95% dimetil polisziloxán (Restek, Co., Bellefonte, PA, USA); (2) Restek MXT-1701: hossz 10 m, belső átmérő 0,18 mm, vastagság: 0,40 μm , közepesen-poláros állófázis 14% cianopropilfenil/86% dimetil polisiloxane (Restek, Co., Bellefonte, PA, USA); vivőgáz: hidrogén; vivőgáz sebessége: 30 ml/perc; csapda (trap) hőmérséklete: $40\text{ }^{\circ}\text{C}$; felfűtés induló hőmérséklete: $50\text{ }^{\circ}\text{C}$; felfűtés véghőmérséklete: $250\text{ }^{\circ}\text{C}$; felfűtés sebessége: $2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$; adatrögzítés ideje: 110 s; adatpontok távolsága: 0,01 s; mintagáz injektálási sebessége: 125 $\mu\text{l/s}$; tisztítás: 8 perc.

A második- ($n=16$) és harmadik kísérletből ($n=45$) származó kiegészítő takarmány és késztakarmány mintákon szintén végeztünk e-orr méréseket. A második kísérlet tápmintái 12,6 g/kg dózisban napraforgó, illetve halolajat, a harmadik kísérlet során etetett takarmány pedig 3,15 g/kg dózisban halolajat tartalmazott. A második kísérletből 8 kiegészítő takarmány és 8 készkép mintát, míg a harmadikból 10 kiegészítő takarmány és 35 készkép mintát elemeztünk.

A mintavételek alkalmával mindig legalább két párhuzamos minta került begyűjtésre az adott mintázott tételből. Ezen párhuzamos mintákból legalább két párhuzamos mérést végeztünk az e-orr módszertan szerint. A takarmánymintákból 1 g került bemérésre a mintatartókba, az e-orr mérések beállításai egyebekben megegyeztek a fent leírtakkal.

3.3.6. Statisztikai értékelés

A kísérleti eredmények matematikai statisztikai értékelését az SPSS Statistics 26.0 for Windows programmal (IBM, Armonk, NY, USA) végeztük (leíró statisztika, Kolmogorov-Smirnov teszt, Levene-teszt, t-próba, nem-paraméteres próbák, többváltozós variancia-analízis).

A takarmány- és tejminták eredményeinek, valamint a hormonszintek és a szaporodásbiológiai paraméterek elemzéséhez a Kolmogorov–Smirnov tesztet, a Levene tesztet, a független mintás t-próbát, illetve a Mann–Whitney U tesztet alkalmaztuk.

A lipidperoxidációs és antioxidáns paraméter adatokat általános lineáris modellel (GLM) elemeztük. Statisztikai modellel vizsgáltuk a kezelések hatását (kontroll és kísérleti takarmányozás), a szaporodásbiológiai periódusok hatását (a szoptatás 14. napja, a választás utáni

5. nap és a termékenyítés utáni 30. nap), az ismétlések hatását, valamint ezek kombinációit (pl. kezelés × szaporodásbiológiai időszakok hatása). A kapott átlagok összehasonlítását Tukey post hoc teszt alapján végeztük.

A választott szignifikancia szint valamennyi statisztikai elemzésnél $p=0,05$ volt, $p\leq 0,1$ esetén pedig tendenciát állapítottunk meg. A statisztikai elemzést a kísérleti adatok szűrésével kezdtük. A szórás 2,5-szeres értékeinél nagyobb, valamint az *Outliers* vizsgálat által megjelölt értéket kizártuk az értékelésből. A szignifikáns mértékben eltérő eredményeket a,b betűkkel jelöltük, ahol a két eltérő jelölés különbséget, a két megegyező betű statisztikai azonosságot jelöl.

A tej, kiegészítő takarmány és késztakarmány minták aromaprofilját leíró e-orr mérések többváltozós adatait AlphaSoft (ver. 16) szoftverrel (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország) elemeztük. A kromatogramokat az azonosított kromatogram csúcsok alapján virtuális szenzoroknak nevezett változókká alakítottam át (Kovács és mtsai, 2020). Egy szenzor neve az adott csúcs kromatogramon belüli helyéből származik, és megegyezik a csúcs Kovács-féle retenciós indexével. A szenzor intenzitását a megfelelő kromatogramcsúcs alatti területből számította a szoftver. A sokváltozós adatok leíró elemzésére és a kiugró értékek keresésére főkomponens-elemzést (PCA) végeztem, mely a minták szenzorváltozók által meghatározott többdimenziós térben történő nem felügyelt osztályozhatóságának vizsgálatára is lehetőséget adott (Naes és mtsai, 2002). A PCA modelleket az egyes csoportok közötti és csoportokon belüli szórások alapján számolt diszkriminációs indexszel (%) jellemeztem, ahol a pozitív értékek a főkomponensek vizsgált síkján átfedés nélküli csoportszétválást jeleznek. Felügyelt osztályozó modelleket építettek lineáris diszkriminancia analízis (LDA) segítségével, mely a szenzorváltozók olyan lineáris kombinációit keresi, melyekkel az előre meghatározott mintacsoportok legjobban megkülönböztethetők (Naes és mtsai, 2002). Az osztályozási modellek pontosságát teljes keresztvalidációval teszteltem, melynek során egy rekordot kihagy a program a modellezési folyamatból, majd vizsgálja a vonatkozó csoportváltozó modellel történő becslésének megbízhatóságát; ezt a folyamatot iteratívan megismétli mindaddig, amíg minden mintát egyszer fel nem használt a validáláshoz (Naes és mtsai, 2002). A keresztvalidációkat a helyesen osztályozott minták arányával jellemeztem. Az AlphaSoft szenzorválasztó funkcióját használtam a leghangsúlyosabb szenzorok azonosítására, amelyek a legjobban képesek az előre meghatározott csoportokat. A kiválasztott szenzorok alapján ismét elkészítettem az osztályozó modelleket, majd a szenzorok hatását a PCA és LDA bi-plotokon való orientációjuk alapján értékeltük. A kiválasztott szenzorok által leírt illékony vegyületeket az AroChemBase adatbázis segítségével azonosítottuk.

3.4. Eredmények és értékelésük

3.4.1. A kocák és malacaik termelési mutatói

Az első kísérletbe vont kocák és malacaik termelési paramétereit a két ismétlés adatainak összevonása után értékeltük (14. táblázat). Az eltérő n-6/n-3 arányú kiegészítő takarmányok (napraforgóolaj, halolaj) etetése nem volt jelentős hatással sem a kocák, sem malacaik termelési mutatóira. Kiemelendő viszont, hogy a választástól az ivarzásig eltelt idő, valamint a hét napnál később ivarzó kocák aránya gyakorlati szempontból jelentősen kedvezőbb volt a kísérleti csoportban. A kontrollcsoportban 25 db olyan tenyészkoca volt, amely csak a választást követő hetedik nap után ivarzott, míg a kísérleti csoportban 10 db (13,66% vs. 6,33%). Az ivarzásig eltelt átlagos idő a kontrollcsoport esetében 5,72 nap, míg a kísérletinél 4,94 nap volt (nem szignifikáns különbség).

14. táblázat. Az első kísérlet kocáinak és malacainak termelési mutatói

	Kontroll	Kísérleti	P-érték
Kocák száma (db)	209	176	-
Élve született malacok száma (db)	19,40±3,36	19,38±2,99	0,94
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	0,06
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%)	-
Később ivarzó kocák száma (db) ¹	25 (13,66%)	10 (6,33%)	-
Az ivarzásig eltelt idő (nap)	5,72±5,14	4,94±3,89	0,12
A következő fialás eredményei			
Vemhesség hossza (nap)	117,89±3,44	118,07±1,16	0,53
Élve született malacok száma (db)	19,50±2,91	19,53±3,41	0,93
Halva született malacok száma (db)	1,41±1,37	1,58±1,38	0,28
Mumifikált malacok száma (db)	0,65±1,14	0,76±0,92	0,33

Kontroll = 6,3 g/kg napraforgóolaj; Kísérleti = 6,3 g/kg halolaj; ^{a,b} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek szignifikáns különbséget jelölnek $P < 0,05$ szignifikancia szint mellett; ^{c,d} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek tendenciózus különbséget jelölnek $0,05 < P < 0,1$ szignifikancia szint mellett. A felső index nélküli sorokban található adatok statisztikailag nem különböznek egymástól; ¹Az ivarzásig több mint 7 nap telt el.

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

A második kísérlet kontroll és kísérleti kocáinak és malacainak termelési mutatóit a 15. táblázat mutatja be. A táblázat adatai alapján a kontroll és a kísérleti kocák kiindulási adataiban

(élve született-, halva született malac, alomtömeg stb.) nem volt jelentős különbség a kísérlet elején, így a két csoport későbbi eredményei összehasonlíthatóak voltak.

A kísérleti kocák a szoptatás alatt szignifikánsan kevesebb takarmányt vettek föl, mint a kontroll állatok (189,6 vs. 200,1 kg), ami hatással volt szoptatás alatti tömegvesztésükre, továbbá malacaik teljesítményére is. Bár a különbségek nem szignifikánsak, de úgy a szopós kori elhullás, mind a választott alomtömeg kisebb volt a kísérleti csoportban.

15. táblázat. A második kísérlet kocáinak és malacainak termelési mutatói

	Kontroll	Kísérleti	P-érték
Vemhesség hossza (nap)	115,3±1,8	115,3±2,2	1,00
Élve született malac (db)	12,40±3,1	12,50±3,5	0,94
Holt malac (db)	2,10±2,1	1,00±1,1	0,20
Átl. alomtömeg (kg)	17,20±3,9	16,60±3,7	0,74
Átl. malactömeg (kg/db)	1,41±0,2	1,39±0,3	0,88
Átlagos szoptatási idő (nap)	35,25±1,8	35,13±2,0	-
Takarmányfelvétel a fiaztatóban (kg/koca)	200,10 ^a ±2,2	189,60 ^b ±8,9	0,01
Tömegvesztés a szoptatás alatt (kg/koca)	35,6±19,6	45,60±20,00	0,35
Tömegvesztés a szoptatás alatt (%)	14,20	17,80	-
Választott malac (db)	10,30±2,0	9,88±2,5	0,74
Szopós elhullás (%)	11,50	15,10	-
Választott alomtömeg (kg)	84,69±12,8	81,94±19,6	0,75
Választott malactömeg (kg/db)	8,41±1,3	8,42±1,2	-
ADG malac (kg/nap) ¹	0,199±0,04	0,200±0,02	-
Következő fialás adatai			
Vemhesség hossza (nap)	114,14±1,21	115,17±1,47	0,20
Élve született malac/alom (db)	9,43 ^b ±2,76	13,33 ^a ±2,8	0,03
Halva született malac/alom (db)	1,29±1,89	0,83±0,75	0,60
Összes született malac/alom (db)	10,71 ^b ±2,50	14,17 ^a ±2,71	0,04
Átl. alomtömeg (kg)	16,74±3,02	19,37±4,98	0,27
Átl. malactömeg (kg/db)	1,84 ^c ±0,29	1,49 ^d ±0,35	0,07
Választott malac (db)	8,29±2,36	9,50±2,65	0,45
Szopós elhullás (%)	12,12	25,00	-
Választott alomtömeg (kg)	64,00±20,43	69,50±16,78	0,66
Választott malactömeg (kg/db)	7,71±0,99	7,50±1,71	0,80
ADG malac (kg/nap) ¹	0,187±0,03	0,158±0,10	0,65

¹ Átlagos napi testtömeg gyarapodás

^{a,b} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek szignifikáns különbséget jelölnek $P < 0,05$ szignifikancia szint mellett; ^{c,d} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek tendenciózus különbséget jelölnek $0,05 < P < 0,1$ szignifikancia szint mellett. A felső index nélküli sorokban található adatok statisztikailag nem különböznek egymástól.

A választást követően a kontroll csoportból a 170-es ellenőrzési számú koca, szaporodásbiológiai okokból, míg a kísérleti csoportból az 1059-es koca végbélelőésés miatt, a

200-as fülszámú koca pedig tőgygyulladás miatt selejtezésre került, így ezek az állatok a további kísérletben már nem vettek részt.

A kocák választás utáni szaporodásbiológiai paraméterei között szintén nem találtunk különbséget, viszont jelentős volt a csoportok közti vemhesülési arány alakulása. A kontroll csoport 30 napos vemhességvizsgálati eredményei alapján az állatok 87,50%-a volt vemhes, míg ez az adat a kísérleti kocák esetében csak 66,70%.

A következő fialás során a korábban nagyon hasonló termelési paraméterek jelentősen megváltoztak a két vizsgált csoportban. A vemhesség hossza a kontroll csoportban átlagosan 1 nappal rövidebb lett, mint a kísérletiben, ami a kontroll állatok korábbi fialásánál tapasztalt vemhességi időhöz képest is kb. 1 napos csökkenést jelent. A következő fialás során a korábbi fialáshoz képest a kontroll csoportban csökkent az élve született malacok száma (12,40 → 9,43), míg a kísérleti esetében nőtt (9,43 → 13,33). Az alomtömeg a kontroll csoport esetében hasonlóan alakult (17,20 → 16,74 kg) mint a korábbi fialáskor, a kísérleti csoport esetében viszont jelentősen nőtt (16,60 kg → 19,37 kg), ami a nagyobb alomlétszámnak köszönhető. Ezt igazolja az is, hogy az egyedi élve született malactömeg a kísérleti csoportban a korábbi fialási szinthez hasonlóan 1,5 kg körül alakult, míg a kontroll malacok az alacsonyabb alomlétszám miatt jóval nagyobb súllyal születtek (1,84 kg).

A harmadik kísérletben a szoptató fázisok alatt rögzítettük a kontroll, illetve a kísérleti kocák egyedi takarmányfelvételét, mivel annak komoly hatása van az almok tömeggyarapodására. A választás után a telep megadta az adott kocacsoportra vonatkozó átlagos egyedi választott malactömeget (kb. 80 alom átlaga/csoport) és a szoptatás alatti elhullás mértékét. Mivel a telep a születési malactömegeket, illetve a dajkásítás utáni malactömegeket nem rögzíti, a választási átlag tömegek inkább tájékoztató jellegűek, de komoly következtetések levonására nem alkalmasak.

A kocák átlagos napi takarmányfelvételét, a malacok átlagos választási tömegét és a szopósmalac elhullást a kísérlet két ismétlése során az *16. táblázat* mutatja be. Az első ismétlésben a kísérleti, míg a másodikban a kontroll csoport kocái vettek föl több takarmányt naponta, ami egyértelműen megmutatkozott a malacok átlagos választási tömegében is. A szopóskori elhullás mértéke mindkét ismétlésben a kísérleti csoportban volt alacsonyabb (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 változó környezeti hatások nem befolyásolták az eredményeket.

16. táblázat. A halolaj hatása a kísérleti kocák és malacaik teljesítményére a harmadik kísérletben

	1. ismétlés			2. ismétlés		
	Kontroll	Kísérleti	p-érték	Kontroll	Kísérleti	P-érték
Kocák takarmányfelvétele a szoptatás alatt (kg/nap)	4,70	5,76		5,76	5,54	
Malacok átlagos választási tömege (kg)	6,97	7,44		7,35	7,06	
Szopósmalac elhullás (%)	12,58 ^a	8,74 ^b	0,00	12,64 ^a	9,53 ^b	0,04

^{a,b} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek szignifikáns különbséget jelölnek $P < 0,05$ szignifikancia szint mellett; ^{c,d} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek tendenciózus különbséget jelölnek $0,05 < P < 0,1$ szignifikancia szint mellett. A felső index nélküli sorokban található adatok statisztikailag nem különböznek egymástól.

A választást követően minden egyes koca esetében rögzítettük az ivarzásig eltelt napok számát és kiszámoltuk a 7 napnál később ivarzó állatok arányát (17. táblázat). A kísérleti kocák az első ismétlésben a választás után hamarabb ivarzottak, mint a kontroll állatok (1. ism.: 6,53 vs. 4,23 nap, $p \leq 0,019$). A második ismétlésben ugyanakkor nem volt különbség a két csoport között (2. ism.: 5,53 vs. 5,43 nap, $p \leq 0,915$). A hét nap után ivarzó állatok aránya mindkét ismétlésben a kontrollcsoportban volt magasabb (1. ism.: 11,0% vs. 2,4%; 2. ism.: 7,6% vs. 4,8%). Az első ismétlésben a különbség háromszoros, míg a másodikban kétszeres a kísérleti állatok javára, ami gazdasági szempontból jelentős különbség.

A termékenyítések után 40-45 nappal a kísérletben résztvevő állatokon ultrahangos vemhességvizsgálatot végeztek. A választás utáni első termékenyítések hatására, az első ismétlésben 10,1%, 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 kontroll kocákkal szemben (1. ism.: 75,0% vs. 87,7%; 2. ism.: 67,7% vs. 73,6%).

A kísérletben részt vett kocák szaporodásbiológiai eredményeit az 17. táblázat foglalja össze. A táblázat utolsó sorában látható, hogy mindkét ismétlés során a kontroll csoport kocáinak jelentős része (13,2%, illetve 20,6%) később vemhesült, míg a kísérleti kocákra vonatkozóan a sikeresebb első termékenyítések folytán ilyen adat nincs. A kísérleti csoportba tartozó kocák kiemelkedő vemhesülési eredményei arra készítették a telepet, hogy a vemhesült kocák közül is jelentős mennyiségű állatot selejtezzenek mindkét ismétlés során (a táblázat utolsó előtti sora).

17. táblázat. A kocák szaporodásbiológiai eredményei a harmadik kísérletben

	1. ismétlés			2. ismétlés		
	Kontroll	Kísérleti	P-érték	Kontroll	Kísérleti	P-érték
Kocák száma (db)	82	82	-	79	82	-
Ivarzásig eltelt idő (nap)	6,53 ^b	4,23 ^a	0,019	5,53	5,43	0,915
Később ivarzó aránya (%)	11,0%	2,4%	-	7,6%	4,8%	-
Termékenyített koca (db)	76	73	-	68	72	-
Vemhesülési (%)	80,3%	90,4%	-	72,1%	80,6%	-
Fialási arány (%)	75,0%	87,7%	-	67,6%	73,6%	-
Visszaivarzott/vetelt (%)	3,9%	4,1%	-	7,4%	9,7%	-
Vemhesen selejtezett (%)	0,0%	9,6%	-	2,0%	5,6%	-
Később vemhesült (%)	13,2%	N.a.	-	20,6%	N.a.	-

^{a,b} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek szignifikáns különbséget jelölnek $P < 0,05$ szignifikancia szint mellett; ^{c,d} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek tendenciózus különbséget jelölnek $0,05 < P < 0,1$ szignifikancia szint mellett. A felső index nélküli sorokban található adatok statisztikailag nem különböznek egymástól.

A kontroll és a kísérleti kocák fialási eredményeit a kísérlet elején, valamint a következő szaporodásbiológiai ciklusban a 18. táblázat mutatja be. A pontosabb összehasonlíthatóság kedvéért az egy vizsgálati csoportban lévő kocák, kísérlet kezdetén rögzített adatait összevetettük a következő fialáskor tapasztalt eredményekkel és a kapott különbségek alapján hasonlítottuk össze a kontroll és a kísérleti csoportok teljesítményét, mindkét ismétlés során.

Az első ismétlésben, az egymást követő fialások során, az élve született malacok száma szignifikánsan nagyobb volt a kísérleti csoportban (első fialás: 14,20 vs. 13,01 db, $p \leq 0,04$; második fialás: 14,79 vs. 13,17 db, $p \leq 0,01$, míg a második ismétlésben nem volt statisztikailag szignifikáns különbség a két vizsgált csoport között. Az első ismétlésben, a második fialás élve született malacszáma mindkét kocacsoportban nőtt az első fialáshoz képest, de míg a kontrollé 0,16 malaccal, addig a kísérletié 0,59-cel (kontroll: 13,01 \rightarrow 13,17; kísérleti: 14,20 \rightarrow 14,79). A második ismétlésben a kontroll csoport malacszáma 1,12-vel csökkent, a kísérletié pedig 0,29-cel nőtt (kontroll: 13,57 \rightarrow 12,45; kísérleti: 13,34 \rightarrow 13,63).

18. táblázat. A következő fialás eredményei a harmadik kísérlet során

	1. ismétlés			2. ismétlés		
	Kontroll	Kísérleti	P-érték	Kontroll	Kísérleti	P-érték
Vemhesség hossza 1 (nap)	115,72	115,89	0,11	115,66	115,88	0,56
Élve született malac 1 (db)	13,01 ^b	14,20 ^a	0,04	13,57	13,34	0,69
Halva született malac 1 (db)	1,51	1,46	0,82	1,22 ^a	1,72 ^b	0,04
Mumifikált malac 1 (db)	0,20	0,24	0,64	0,11	0,20	0,22
Összes malac 1 (db)	14,72	15,90		14,90	15,26	
Vemhesség hossza 2 (nap)	116,23	115,67	0,35	115,85	115,55	0,52
Élve született malac 2 (db)	13,17 ^b	14,79 ^a	0,01	12,45	13,63	0,11
Halva született malac 2 (db)	1,23	0,95	0,24	1,72	1,55	0,58
Mumifikált malac 2 (db)	0,02	0,09	0,17	0,00 ^a	0,49 ^b	0,00
Összes malac 2 (db)	14,42	15,83		14,17	15,67	

^{a,b} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek szignifikáns különbséget jelölnek $P < 0,05$ szignifikancia szint mellett; ^{c,d} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek tendenciózus különbséget jelölnek $0,05 < P < 0,1$ szignifikancia szint mellett. A felső index nélküli sorokban található adatok statisztikailag nem különböznek egymástól.

A második ismétlés során az első fialáskor a halva született malacok száma, míg a második fialáskor a mumifikált malacok száma volt szignifikánsan kevesebb a kontroll csoportban.

Az első kísérlet során tapasztalt szaporodásbiológiai paraméterek nem különböztek szignifikánsan a kontroll és kísérleti csoportok között (vemhesülési arány, fialási arány, fialás és ivarzás között eltelt idő), azonban az ivarzásig eltelt idő átlagos hossza (4,94 nap vs. 5,72 nap), valamint a hét nappal később ivarzó kocák aránya gyakorlati szempontból jelentős különbségnek tekinthető, amely a vérszérum progeszteron (P4) szintjében tapasztalt különbségekre is magyarázattal szolgálhat (lásd később). A második kísérletben nem volt különbség az ivarzásig eltelt időben, míg a harmadik kísérletben ebben a paraméterben az első ismétlésben volt szignifikáns különbség a kontroll és a kísérleti csoportok között.

Eredményeink hasonlóak a más kutatók által korábban közöltekhez. Így például a szoptató koca takarmány 0,5%-os faggyú tartalmának lazacolajjal történő helyettesítése nem befolyásolta 48 lapály × Yorkshire koca ivarzásig eltelt idejét ($p > 0,05$) Kibria és mtsai. (2021) vizsgálatában. A várható fialás előtt hét naptól a választásig etetett 0,9%-os védett n-3 zsírsavkiegészítés (lenolaj és halolaj keveréke) nem okozott szignifikáns különbséget ($p > 0,05$) a szaporodásbiológiai teljesítményben kukorica-szója alapú takarmányozás esetén (Wang és mtsai, 2021). Smits és mtsai. (2011) kísérleti kiegészítésként 3,3 g/kg lazacolajat etettek a vemhesség 107. napjától a választásig nagyfehér × lapály F1 kocákkal egy negatív kontrollal szemben, és bár nem találtak szignifikáns különbséget sem az ivarzásig eltelt időben (7,8 vs. 6,3 nap; $p = 0,130$), sem a vemhességi (74,8 vs. 75,8 %; $p = 0,858$), illetve a fialási arányban (72,1 vs. 73,5 %; $p = 0,797$) a kezelések között, mindegyik vizsgált paraméter értéke javult a kísérleti csoport esetében.

Posser és mtsai. (2018) megállapították, hogy a DHA-ban gazdag tengeri mikroalgák különböző dózisban (3,5; 7,0; 14,0; és 28,0 g/állat/nap) PIC Camborough kocákkal a vemhesség 85. napjától a termékenyítésig történő etetése nem befolyásolta sem a születendő alom méretét, sem annak tömegét. Ráadásul a 7,0 g/nap mikroalgát fogyasztó tenyészkocák ivarzásig eltelt ideje hosszabb volt (3,7 nap vs. 3,3 nap; $p < 0,05$), mint a kontroll csoporté. Hasonlót tapasztaltak Eastwood és mtsai. (2015) is, akik heringolaj etetést követően a választás és az ivarzás közti idő növekedését figyelték meg (5,0 vs. 8,4 nap, nem szignifikáns) faggyú kontrollal szemben, 100 PIC tenyészkoca etetése során.

Estienne és mtsai. (2006) sem tapasztaltak különbséget az ivarzásig eltelt időben, az ovulációs rátában, az embriók számában, illetve tömegében, amikor 48 keresztezett (Duroc × Yorkshire/ Duroc × Yorkshire × lapály) kocasüldőt 61 napig (a termékenyítés előtti 34. naptól az azt követő 27. napig) etettek, 10 g/kg tengeri mikroalga kivonattal, 18 napos progesztagén kezelést követően. A leírtakkal ellentétben Rosero és mtsai. (2016) tapasztalatai szerint PIC Camborough tenyészkocák n-6 és n-3 zsírsavak különböző koncentrációban történő kombinált etetése növelte az ivarzó kocák számát, csökkentette az ivarzásig eltelt időt, javította a vemhesülési és a fialási

arányt, valamint csökkentette a selejtezés mértékét a kiegészítésben nem részesült kocákhoz képest.

A második kísérletben a kísérleti kocáknál tapasztalt takarmányfelvétel és az ennek következtében fellépő testtömeg csökkenés, összefüggésben lehet a viszonylag magas dózisban (12,6 g/kg) etetett halolaj alapú kísérleti kiegészítő takarmánnyal. Eastwood és mtsai. (2015) szintén a halolajat tartalmazó tápot fogyasztó csoportban mérték a legalacsonyabb takarmányfelvételt ($p=0,047$) a szoptatás során, faggyúval és lenolajjal összehasonlítva. Ezzel szemben egy friss tanulmányban a 0,5%-os halolaj etetés csökkentette a kísérleti kocák tömegvesztését ($p=0,01$) a laktáció alatt (Kibria és mtsai, 2021). Lauridsen és Danielsen (2004) dán nagyfehér x dán lapály tenyészkocák napraforgóolajjal és halolajjal történő etetése során azt tapasztalták, hogy a halolajjal kiegészített takarmányt fogyasztó kocák szoptatás alatti tömegvesztése jelentősen kevesebb volt (2,7 vs. 11 kg, nem szignifikáns), mint a napraforgóolajjal kiegészített takarmányt fogyasztóké, míg az alom tömegének növekedése az utóbbi csoportban volt előnyösebb (68,7 vs. 59,3 kg, $p=0,017$). Egy jóval alacsonyabb dózisban etetett halolaj tartalmú takarmánnyal végzett kísérletben (3, illetve 6 g/kg halolaj a szoptató tápokban) viszont nem tapasztaltak különbséget a kontroll és kísérleti PIC GP1050 (nagyfehér x lapály) tenyészkocák takarmányfelvétele, illetve malacaik növekedési erélye között (Grez és mtsai, 2016).

A harmadik kísérletben, a kocák laktáció alatti takarmányfelvétele ellentétes irányban változott az egyes ismétlések során, hasonlóképpen a malacok választási tömegében. Ezek alapján valószínűleg a malacok növekedésére a kocák által elfogyasztott takarmány mennyiségének volt nagyobb hatása, mint a kiegészítő takarmányok alkalmazásának. Kibria és mtsai. (2021) hasonlóan tapasztaltak, közel azonos dózisú halolajetetés esetén (0,5% lazacolaj a szoptató tápban), amikor mind a kocák tömegvesztése ($p=0,01$), mind a malacok testtömeg gyarapodása és választási tömege ($p=0,0002$; $0,047$) a kísérleti csoportban volt a kedvezőbb.

A szopósmalac elhullás mindkét ismétlés során következetesen és szignifikánsan a kísérleti csoportban volt alacsonyabb a harmadik kísérletben. Az n-3 zsírsavak a kocatejen keresztül felszívódnak a fiatal malacok emésztőrendszerében (Sampels és mtsai, 2011; Lavery és mtsai, 2019), és az immunrendszer támogatása révén pozitív hatásuk lehet a malacok egészségi állapotára (Mateo és mtsai, 2009; Luo és mtsai, 2013). Yao és mtsai. (2012) hasonló eredményeket kaptak, amikor kukorica (n-6 PUFA) és lenolaj (n-3 PUFA) változó arányú etetése során a legmagasabb lenolajdózist fogyasztó kocák malacainak szopóskori elhullása bizonyult a legalacsonyabbnak a szoptatás 14. ($p=0,09$), illetve 21. napján ($p=0,06$). Ezzel szemben sem Grez és mtsai. (2016), sem Kimbria és mtsai. (2021) nem tapasztaltak különbséget a malacok elhullásában a szoptató táp halolajjal történő kezelése során.

A klasszikus szaporodásbiológiai paraméterek, mint az ivarzásig eltelt idő, a hét napon belül ivarzó egyedek aránya, a vemhesülési és fialási arány egyértelműen a harmadik kísérletben különböznek legnagyobb mértékben a kontroll és kísérleti csoportok között. A kapott eredmények főként azért különlegeseek, mert a kontroll csoport kocatápjai szintén nagy mennyiségben tartalmaztak n-3 zsírsavat, bár növényi forrásból (lenolaj, ALA forrás).

A harmadik kísérlet szaporodásbiológiai eredményeihez hasonlót csak két korábbi tanulmányban találni (Smits és mtsai, 2011; Rosero és mtsai, 2016). A legtöbb esetben azonban a halolaj etetésének nem volt jelentős hatása a kocák szaporodására (Matteo és mtsai, 2009; Grez és mtsai, 2016; Lou és mtsai, 2019).

Az n-3 zsírsavaknak a következő szaporodásbiológiai ciklusban született malacok számára gyakorolt hatásával szintén kevés tanulmány foglalkozik. A harmadik kísérlet eredményei megerősítik Smits és mtsai. (2011), Webel és mtsai. (2003), valamint Spencer és mtsai. (2004a) korábbi tapasztalatait.

3.4.2. A kocatej táplálóanyag-tartalma és kémiai összetétele

A halolaj kiegészítés szignifikáns hatással volt a kocatej zsírsavösszetételére az első kísérlet során, mivel jelentősen nőtt az n-3 zsírsavak mennyisége a kísérleti állatok tejmintáiban. A kocatej szárazanyag-, fehérje- és zsírtartalmát ugyanakkor nem befolyásolta a kocatakarmányok halolajjal, illetve napraforgóolajjal történő kiegészítése (19. táblázat).

19. táblázat. Az első kísérlet tejmintáinak táplálóanyag-tartalma

	Kontroll	Kísérleti	P-érték
Szárazanyag ¹ (%)	18,91 ± 1,01	18,47 ± 1,78	0,57
Tejfehérje ¹ (%)	5,06 ± 0,18	5,15 ± 0,37	0,12
Tejzsír ¹ (%)	7,84 ± 0,82	7,49 ± 1,25	0,37
Laktációs napok száma	13,92 ± 2,91	12,50 ± 1,57	0,16

¹A tejmintavétel előtt a kocák 10 NE oxytocint kaptak intramuszkulárisan.

A vizsgálat során a kocatakarmányok halolajjal és napraforgóolajjal történő kiegészítése nem befolyásolta a kocatej kémiai összetételét, hasonlóan Grez és mtsai. (2016), valamint Lauridsen és Danielsen (2004) eredményeihez. Laws és mtsai. (2008) ugyanezt figyelték meg, amikor végtermékelőállító kocákat etettek halolajjal és egyéb olajforrásokkal (pálmaolaj, olívaolaj, napraforgóolaj), 10%-os energiatöbbletet biztosítva ezzel az állatoknak. Cordero és mtsai. (2011) viszont 10 g/kg konjugált-linolsav (CLA) kiegészítés mellett alacsonyabb tejzsírkoncentrációt tapasztaltak a negatív kontroll állatok tejének zsírtartalmához képest (45,8 vs. 53 g zsír/kg tej). Ennek oka a CLA kérődző állatokban már jól ismert tejzsír depresszív hatása lehetett (Hussein és mtsai, 2013).

3.4.3. A kocatej zsírsavösszetétele és az n-6/n-3 zsírsavak aránya

A napraforgó- és a halolaj kiegészítés megváltoztatta a kontroll és kísérleti kocatakarmányok zsírsavösszetételét, és ezáltal a kontroll és a kísérleti állatok tejének zsírsavprofilját is (20. táblázat). A halolajkiegészítés csökkentette a laurinsav (C12:0) ($p < 0,1$) és növelte a CLA (c9,t11) ($p < 0,09$) mennyiségét a tejben. A napraforgóolajjal történő kiegészítés növelte az LA (C18:2) (8,43 mg/ml vs. 6,63 mg/ml tej), és szignifikánsan növelte ($p < 0,02$) a PUFA mennyiségét (9,92 mg/ml vs. 8,61 mg/ml) tej a kontroll kocák tejében. Ezzel szemben a halolajat tartalmazó takarmányt fogyasztó kocák tejében szignifikánsan nagyobb volt az EPA (C20:5), a DPA (C22:5) és DHA (C22:6) tartalom ($p < 0,001$), ami egyértelműen mutatja a halolajjal történő etetés hatását. Az n-3 PUFA mennyisége a kontroll tejmintákban 0,69 mg/ml, míg a kísérleti tejmintákban 1,17 mg/ml volt ($p < 0,001$).

20. táblázat. Az első kísérlet tejmintáinak zsírsavtartalma

Zsírsavak (mg zsírsav/ml tej)	Kontroll	Kísérleti	P-érték
C12:0	0,29 ^c ± 0,05	0,24 ^d ± 0,06	0,07
C14:0	3,42 ± 0,48	3,19 ± 0,59	0,30
C16:0	27,52 ± 3,24	25,52 ± 3,43	0,15
C18:0	3,70 ± 0,87	3,83 ± 0,86	0,71
ΣSFAs	35,50 ± 4,43	33,22 ± 4,29	0,23
C16:1	6,21 ± 1,26	5,62 ± 1,62	0,33
C18:1 (n-9c)	20,52 ± 5,47	19,84 ± 5,97	0,77
ΣMUFAs	27,29 ± 6,27	26,03 ± 6,61	0,67
C18:2 (n-6c)	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
ΣPUFAs	9,92 ^a ± 1,26	8,61 ^b ± 1,30	0,02
Összes zsírsav (mg/ml tej)	72,71 ± 10,82	67,95 ± 10,26	0,59
Σn-6	9,24 ^a	7,44 ^b	0,001
Σn-3	0,69 ^b	1,17 ^a	0,001
n-6/n-3	13,42	6,35	-

SFAs, telített zsírsavak; MUFAs, egyszerűen telítetlen zsírsavak; PUFAs, többszörösen telítetlen zsírsavak; ^{a,b} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek szignifikáns különbséget jelölnek $P < 0,05$ szignifikancia szint mellett; ^{c,d} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek tendenciózus különbséget jelölnek $0,05 < P < 0,1$ szignifikancia szint mellett. A felső index nélküli sorokban található adatok statisztikailag nem különböznek egymástól.

A kontroll szoptató koca takarmányban az n-6/n-3 zsírsavak aránya 15,08 volt, ami 13,42-es arányt eredményezett a kontroll állatok tejében. A kísérleti szoptató koca takarmányban ez az arány 7,38 volt, ami a kísérleti kocák tejében 6,35-ös n-6/n-3 arányt idézett elő.

Az epitheliochoriális méhlepénnyel rendelkező állatok, így a sertés esetében a méhlepény alacsonyabb átteresztőképessége miatt, a takarmánnyal felvett zsírsavak kisebb hányada kerül át fejlődő magzatokba (Battaglia és Meschia 1988), mint a hemochorialis placentával rendelkező fajok esetében, mert ez utóbbiban az LA, ALA és a hosszúlancú többszörösen telítetlen zsírsavak

szállítását a méhlepényben található zsírsavkötő-, illetve transzfer fehérjék végzik (Koletzko és mtsai, 2007). Emiatt a malacok hosszú szénláncú telítetlen zsírsavellátása elsősorban a kocatején keresztül valósulhat meg.

Az emésztés során felszívódott zsírsavak többsége triglicerid, illetve foszfolipid molekulákba épülve, a nagyméretű lipoproteinek részeiként (pl. chilomikronok, nagyon alacsony sűrűségű lipoproteinek-VLDL) szállítódnak a bélből a perifériás szövetekbe. A chilomikronokban és a VLDL molekulákban található trigliceridekből származó zsírsavak a lipoprotein lipáz (LPL) hatására kerülnek az emlőmirigyekbe (Palmquist és Mattos 1978), de az LPL kevésbé aktív a hosszúlancú telítetlen zsírsavak esetében, mivel azok inkább foszfolipidek formájában szállítódnak az érpályákban (Rymer és mtsai, 2003).

A rövidebb szénláncú telítetlen zsírsavak hosszabb szénláncúvá alakulását mikroszomális elongáz enzimek katalizálják. Az átalakulás aránya és sebessége a rendelkezésre álló szubsztrátok mennyiségétől, illetve enzimek aktivitásától függ (Sprecher 2000). A korábbi kutatások alapján az ALA nagyon alacsony hatásfokkal alakul át EPA-vá, illetve DHA-vá a sejtekben (Palmquist 2009), ami kiemelt fontosságúvá teszi a hosszú szénláncú n-3 zsírsavak alkalmazását a kocatakarmányokban.

A tejmintákban lévő telített és egyszeresen telítetlen zsírsavak mennyiségét nem befolyásolták a kiegészítések. A napraforgóolajjal kiegészített takarmányt fogyasztó kontroll kocák tejében nagyobb mennyiségben voltak jelen a többszörösen telítetlen zsírsavak, mint a halolajjal kiegészített takarmányt fogyasztó kísérleti kocákéban. Ezzel szemben az EPA, DPA és DHA szintek szignifikánsan magasabbak voltak a kísérleti csoport tejében ($p < 0,001$), ami egyértelműen mutatja a halolajjal történő etetés hatását.

Az általunk tapasztaltak megegyeznek Lauridsen és Danielsen (2004), valamint Lauridsen és Jensen (2007) eredményeivel, akik ugyanezeket az olajforrásokat tesztelték, de 8%-os bekeverési arány mellett. Szintén hasonló eredményeket kaptak Jin és mtsai. (2017), akik 4,1% pálmaolajból, 3,9% halolajból és 3,8% szójababolajból álló kiegészítést alkalmaztak, valamint Lavery és mtsai. (2019) is, akik 3,5% szója- és azonos mennyiségű lazacolajjal kiegészített takarmányt etettek PIC F1 (lapály × nagyfehér) kocákkal két kísérletben. A lazacolaj kiegészítés, a többi kiegészítéshez képest növelte az EPA, DPA és DHA arányát ($p < 0,001$), de csökkentette az LA arányát ($p < 0,001$). Lou és mtsai. (2019) vizsgálata során az n-6 zsírsavak aránya alacsonyabb, míg az n-3 zsírsavaké magasabb ($p < 0,001$) volt a halolajjal kiegészített takarmányt fogyasztó csoport tejében, mint a szójaolajjal kiegészített csoportban ($p < 0,001$). A halolaj etetése csökkentette az LA ($p < 0,001$) és az ARA ($p < 0,001$), de növelte az EPA ($p < 0,001$), a DPA ($p < 0,001$) és a DHA ($p < 0,001$) mennyiségét a kocák tejében.

Egy norvég lapály kocákkal végzett vizsgálatban, ahol a kísérleti állatok napi 50 ml tőkehalmájolajat kaptak kiegészítésként, Taugbøl és mtsai. (1993) szignifikáns növekedést tapasztaltak a kocatej EPA és DHA szintjében a kontroll kocákhoz képest a szoptatás 14. napján. Fritsche és mtsai. (1993) kutatásában a szoptató koca takarmány 3,5%, illetve 7% faggyú tartalmának menhaden olajjal (MFO) történő helyettesítése szignifikánsan növelte az n-3 zsírsavak, viszont jelentősen csökkentette az ARA szintjét, lapály × duroc tenyészkocák vérszérumában és a tejében. Egy másik vizsgálatban, amikor konjugált linolsavat (CLA) adagoltak 3.-4. paritású lapály × nagyfehér kocáknak, 10 g/kg dózisban a vemhesség késői szakaszában, illetve a szoptatás alatt egy negatív kontrollal szemben, azt találták, hogy a CLA növelte a kocatej telített zsírsav és a CLA (c9t11 és t10,c12) tartalmát, de csökkentette az egyszeresen telítetlen zsírsavak arányát a szoptatás 23. napján (Cordero és mtsai. 2011). Ugyanebben a kísérletben a CLA pozitívan befolyásolta az EPA, mint n-3 zsírsav, mennyiségét a kocatejben.

Vizsgálatunk során az irodalmi adatokhoz hasonlóan szoros kapcsolatot találtunk a kocák takarmányának és tejének zsírsavösszetétele között. A kontroll szoptató koca takarmány n-6/n-3 zsírsavaránya 15,08 volt, ami 13,42-es arányt eredményezett a tejben. Ez az arány a kísérleti szoptató tápban 7,38 volt, ami tej n-6/n-3 arányát 6,35-re módosította. Lauridsen és Danielsen (2004) napraforgóolaj, szójaolaj, repceolaj, halolaj, kókuszolaj és állati zsír hatását vizsgálták dán lapály × nagyfehér kocák tejének zsírsavprofiljára, és azt találták, hogy a 8%-os napraforgókiegészítés 12,4-es n-6/n-3 zsírsavarányt eredményezett a tejben, míg a halolaj etetése 1,95-ös n-6/n-3 arányhoz vezetett. Yao és mtsai. (2012) szintén szoros korrelációt találtak a kocatakarományok és a kocák tejének n-6/n-3 aránya között lapály kocáknál. Ahogy az n-6/n-3 zsírsavarány nőtt a takarmányban (3:1, 9:1, 13:1), úgy nőtt a tej n-6/n-3 aránya is (3,21, 10,33, 11,48). Eastwood és mtsai. (2014) szintén hasonló összefüggést találtak a frissen fialt kocák takarmányának, valamint kolosztrumának zsírsavprofilja között. A lenmagliszt és a lenolaj különböző arányban történt bekeverésének hatására a takarmány 9:1, 5:1 és 1:1 n-6/n-3 zsírsavaránya 5:1, 4:1 és 1:1 n-6/n-3 arányt eredményezett a kolosztrumban. Egy másik vizsgálat során azt figyelték meg, hogy négy különböző LA/ALA arányt tartalmazó szoptató-koca takarmány (repce, kukorica és lenmagolaj keveréke, n-6/n-3 zsírsavarány: 15,3:1, 5,1:1, 20,7:1 és 6,9:1) hasonló módon változtatta meg a kocatej n-6/n-3 zsírsavarányát (15:1, 5:1, 23:1 és 9:1) (Rosero és mtsai, 2015). Gunnarsson és mtsai. (2009) arról is beszámoltak, hogy az ALA-ban (C18:3, n-3) gazdag lenolaj 10 g/kg dózisban történő etetése 11,04:1-ről 1,95:1-re csökkentette a kísérleti kocák takarmányának n-6/n-3 arányát a kontrollhoz képest.

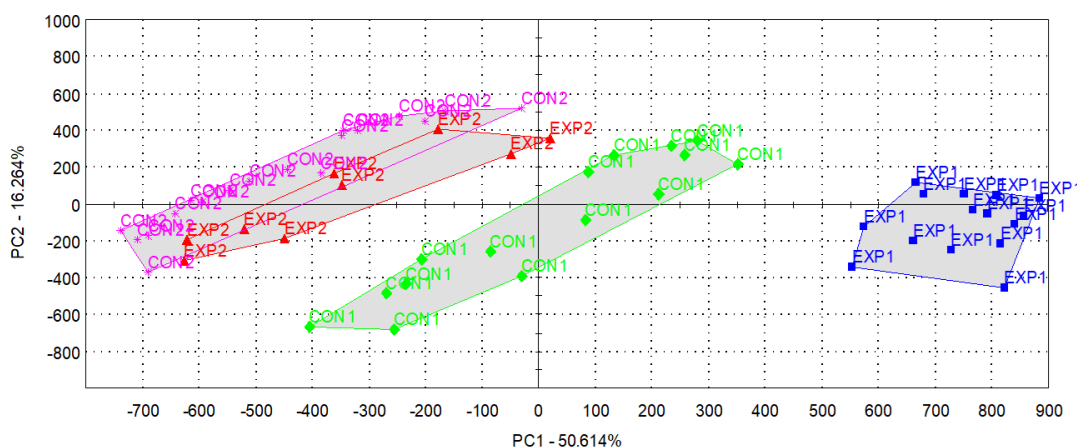
A takarmányok, illetve az állati termékek, mint például a kocatej n-6/n-3 aránya azonban nem mindig ad reális képet az állatok valós zsírsavellátásáról. Mivel a takarmányban található különböző zsírsavak eltérő hatékonysággal választódnak ki a kocák tejébe, még egy olyan

zsírsavforrás is, mint a szójaolaj, amely kétségtelenül gazdag n-6 zsírsavakban, képes a kocatej n-6/n-3 arányát csökkenteni. Egy vizsgálatban, ahol 3% kókuszolajat, pálmaolajat, illetve szójababolajat tartalmazó takarmányt etettek többször fiatal lapály × nagyfehér tenyészkocákkal a vemhesség 107. napjától a választásig (21 napos választás), a szoptatás 11. napján a kocatej n-6/n-3 aránya a szójaolajos csoportban volt a legkisebb összehasonlítva a kókusz- és pálmaolajos csoporttal (13 vs. 15,5% vs. 15%) (Bai és mtsai. 2017).

3.4.4. A kocatej illatprofil-meghatározása elektronikus orral

Az első kísérlet során nyert kocatej minták aromaprofilját leíró e-orr adatokat adatbázisfájlban egyesítettük. Az adatátalakítás során 130 virtuális szenzort azonosítottak. A kiugró érték azonosítására a teljes adatbázis felhasználásával futtatott PCA-t alkalmaztunk, amelynek alapján négy minta összes ismétlését kizártuk az osztályozási elemzésekből. Ezek a minták a fejés során szennyeződtek, ami határozott kellemetlen szagot okozott, így nagymértékben különböztek a mintakészlet többi részétől. Ezen túlmenően, három ismétlést kizártunk az egyes mintákból kiugró értéként. Mindezek eredményeként 57 minta elektronikus orradatait elemeztük.

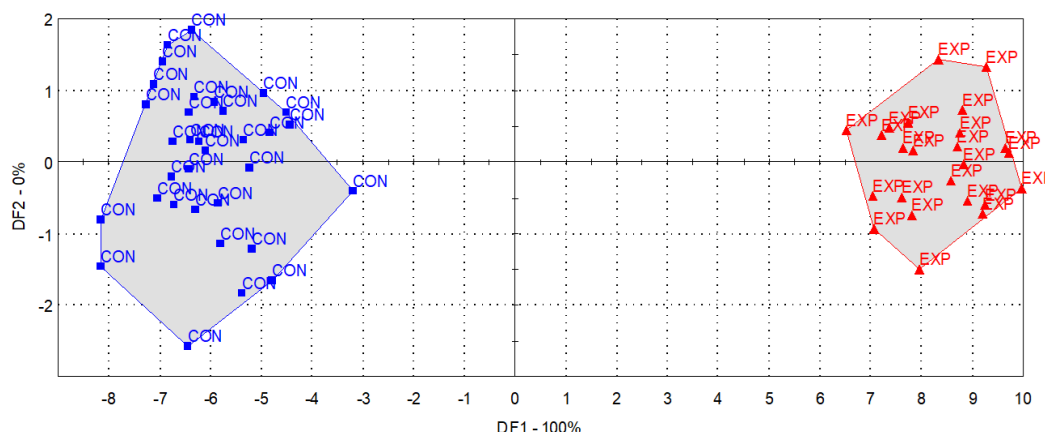
A 3. ábra a PCA pontdiagramját mutatja az összes szenzor adatainak felhasználásával. Mind a kísérleti, mind a kontrollcsoport két alcsoportot alkotott a mintavételi időpontok szerint, és nem volt egyértelmű a kezelési csoportok elkülönítése sem az első főkomponens (PC1), sem a PC2 mentén.



3. ábra. Az első kísérlet tejmintáinak (CON1: kontroll, 1. mintavétel, zöld rombusz; CON2: kontroll, 2. mintavétel, rózsaszín csillag; EXP1: kísérleti, 1. mintavétel, kék négyzet; EXP2: kísérleti, 2. mintavétel, piros háromszög) PCA score ábrája az összes szenzor által leírt illatprofil alapján.

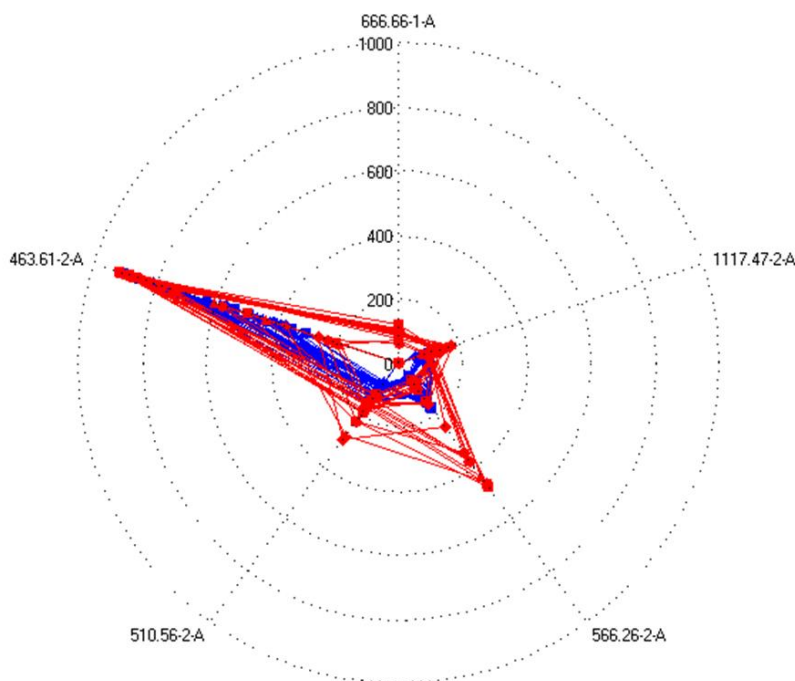
Felügyelt osztályozás esetén az LDA modell eltérést talált a különböző táppal etetett csoportok aromaprofiljában, és a keresztvalidáció során 93%-os találati arányt kaptunk (4. ábra). A sok szenzor modellbe történő bevonása túlillesztést okozhat; így a takarmányozási csoportok

megkülönböztetésére leginkább alkalmas szenzorok kiválasztásával dimenziócsökkentést végeztünk.



4. ábra. Lineáris diszkriminancia analízis (LDA) eredmény az első kísérletben gyűjtött kontroll (CON, kék négyzet) és kísérleti (EXP, piros háromszög) tejminták megkülönböztetésére az összes érzékelő által leírt aromaprofilok alapján.

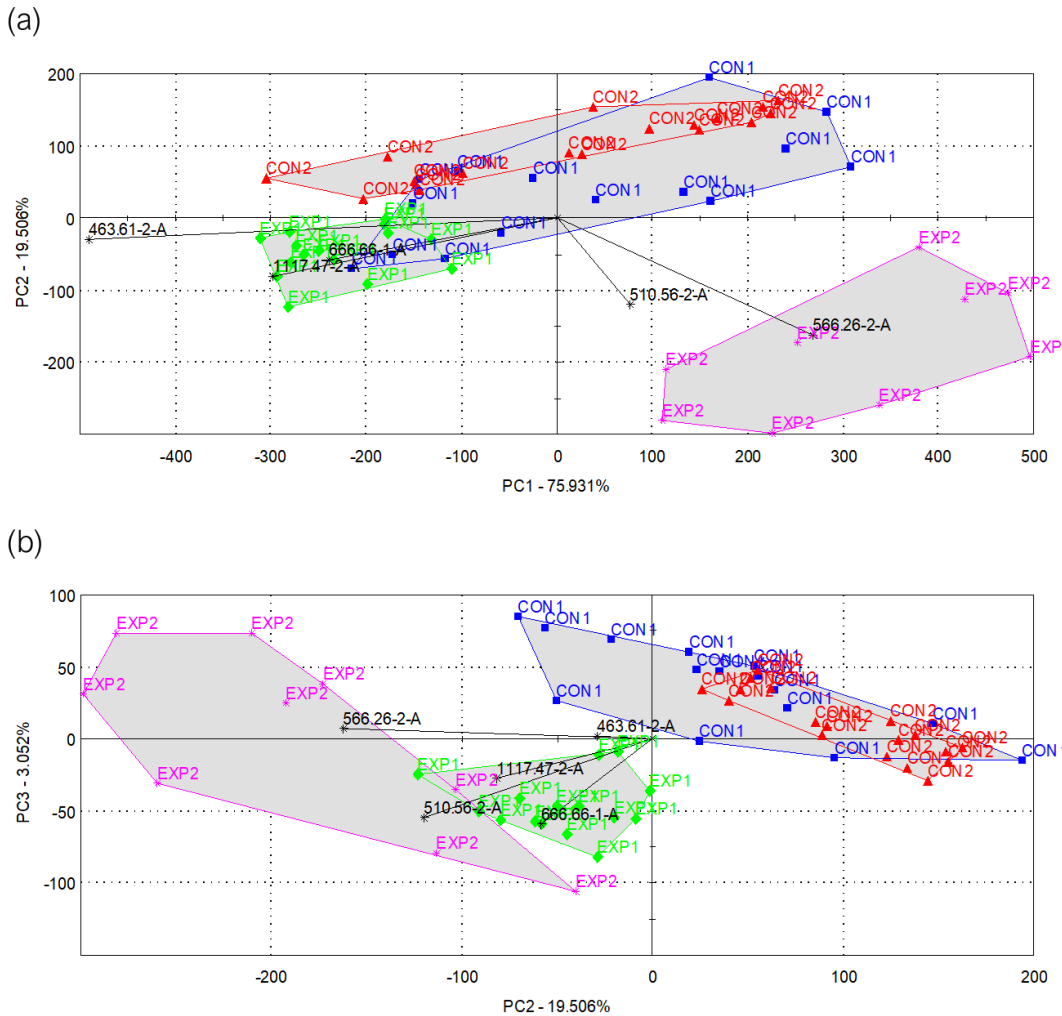
Öt domináns szenzort azonosítottunk az AlphaSoft algoritmusával, amelynek során a kiválasztást a kontroll és a kísérleti csoportok közötti különbségek kimutatására optimalizáltuk. A kiválasztott domináns szenzorok: 666.66-1-A, 463.61-2-A, 510.56-2-A, 566.26-2-A és 1117.47-2-A. Az 5. ábrán látható pókhálódíagram az egyes csoportok mintáinak szenzorokon mért intenzitásértékeit mutatja.



5. ábra. Az első kísérletből származó kontroll (kék) és kísérleti (piros) tejminták elektronikus orr adatainak pókhálódíagramja az öt kiválasztott szenzor által meghatározott síkon; a körcikkely: szenzor (retenciós index és oszloptípus), sugár: intenzitás érték (a kromatogram csúcs alatti terület a megfelelő retenciós indexnél).

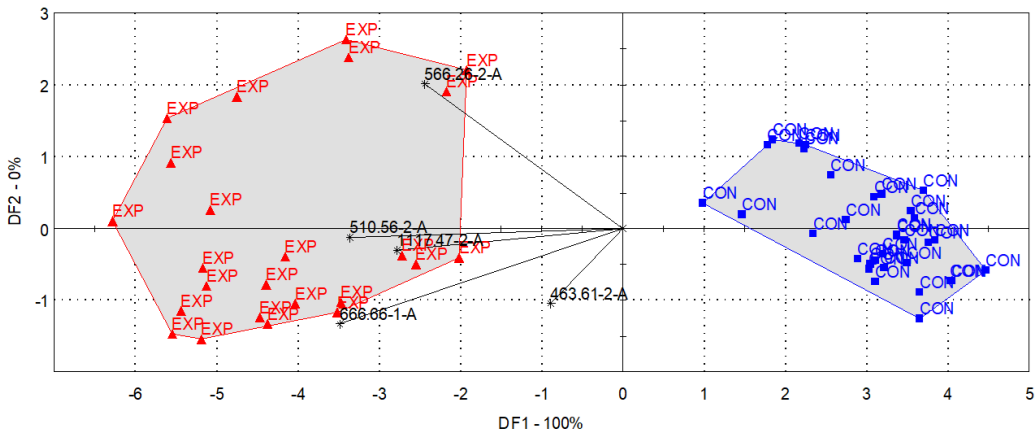
A *t*-teszt alapján a 666.66-1-A, 510.56-2-A, 566.26-2-A és 1117.47-2-A szenzorok szignifikáns ($p < 0,05$) különbséget mutattak az etetési csoportok szerint (NO vs. HO), de az átfedések okán önállóan egyik szenzor sem tett lehetővé egyértelmű megkülönböztetést.

Az öt domináns szenzor felhasználásával kapott PCA eredményeket a *6. ábra* mutatja. Bár az egyes szenzorjelek alapján nem lehetett azonosítani a kezelési csoportokat, de a jelek lineáris kombinációi jó diszkriminátorok voltak. A *6.a ábrán* a minták csoportosulása a PC1 és PC2 által leírt síkban látható a kezelési és mintavételi csoportok megjelölésével, míg a *6.b ábrán* a PC2 és PC3 síkjaiban látható a csoportok rendeződése. A 2. és 3. főkomponens által meghatározott síkban határozott különbséget találtunk a kontroll és a kísérleti csoport között. Ha a diszkriminációs indexet egyedül a két kezeléssel számítottuk ki, +28-as értéket kaptunk, ami a kontroll és a kísérleti csoport átfedésmentes elválasztását jelzi. A PCA score diagramokra vetítve a *6.a és 6.b ábra* a score értékek kiszámításához használt loading vektorokat is mutatja. A loadingok (súlyvektorok) az egyes változók szerepét/hangsúlyát mutatják, vagyis, hogy melyik eredeti változás milyen súllyal vesz részt az új látens változók (főkomponensek vagy diszkriminációs faktorok) kiszámítása során. Mivel a *6.b ábra* loadingjai a kísérleti csoportok felé mutatnak, a kiválasztott szenzorokat befolyásoló illékony vegyületek a kísérleti tejmintákban dominánsabban jelentek meg, míg a kontroll mintákban kevésbé voltak dominánsak.



6. ábra. Öt kiválasztott szenzor adataira épített PCA bi-plot ábrája, amely az első kísérlet tejmintáinak loading vektorait és score értékeit mutatja (CON1: kontroll, 1. mintavétel, kék négyzet; CON2: kontroll, 2. mintavétel, piros háromszög; EXP1: kísérleti, 1. mintavétel, zöld gyémánt; EXP2: kísérleti, 2. mintavétel, rózsaszín csillag) a (a) PC1-PC2 és (b) PC2-PC3 síkban.

A felügyelt osztályozást megismételtük a kiválasztott szenzorokkal. Az LDA modell eredményeit a 7. ábra mutatja. A keresztvalidáció találati aránya javult, és a helyesen osztályozott esetek aránya elérte a 98%-ot. A loadingok ismét azt mutatták, hogy az összes kiválasztott szenzor vonatkozásában a kísérleti csoport volt domináns.



7. ábra. Öt kiválasztott szenzor adataira épített LDA bi-plot ábrája, amely az első kísérletben gyűjtött kontroll (CON, kék négyzet) és a kísérleti (EXP, piros háromszög) tejminták megkülönböztetését és az öt szenzor modellépítésben játszott szerepét (loading vektorait) mutatja.

Az eltérően takarmányozott egyedektől gyűjtött tejminták a takarmányozási csoportok szerint jól elkülöníthetők az elektronikus orr által leírt aromaprofil alapján. Az a tény, hogy a kísérleti és a kontroll csoport között egyértelmű különbség van még nem felügyelt osztályozási módszerrel (PCA) is a takarmányozás tej aromájára gyakorolt jelentős hatását jelzi. A kiválasztott szenzorok, amelyek a kezelt csoportok megkülönböztetésében domináns szerepet játszottak, a kísérleti csoportra jellemzőbbek voltak, ami azt jelzi, hogy a vonatkozó retenciós indexekkel leírt illékony anyagok nagyobb mennyiségben voltak jelen a kísérleti mintákban. A 21. táblázat felsorolja az azonosított vegyületeket, amelyek a szenzorjeleket okozták és összefoglalja a vegyületek kapcsolódó tulajdonságait.

21. táblázat. Az első kísérlet tejmintáiban azonosított vegyületek és a hozzájuk tartozó retenciós indexek jellemzése

Retenciós index	GC oszlop típusa ⁺	Relatív dominancia ⁺⁺	Azonosított vegyület ⁺⁺⁺	Jellemző tulajdonság
666	1-A	100,0%	3-metil-butanol	Kellemetlen alkoholszag ¹ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> metabolitja ¹ Tehéntej mellékíz ²
463	2-A	25,7%	Acetaldehid	Fullasztó szag ¹ Bizonyos növények szaga ¹ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> metabolitja ¹ <i>Escherichia coli</i> metabolitja ¹ Egér szag alkotója ¹ Avas tehéntej aromaösszetevője ²
510	2-A	97,1%	Tejsav	Gyengén illékony, enyhe kellemetlen szag ¹ Cukor bakteriális fermentációjának közterméke ¹
566	2-A	71,4%	Dimetil-szulfid	Kellemetlen szag ¹ Algák metabolitja ¹
1117	2-A	78,6%	Acetil pirazin	Aromás keton ¹ Magvak, mogyoró, hús, popcorn, kenyérhéj, ecet, burgonya snack illatanyaga ¹

⁺ 1-A: MXT-5; 2-A: MXT-1701. ⁺⁺ Az egyes szenzorok dominanciája a kísérleti (HO) és a kontroll (NO) csoport tejmintáit egyértelműen megkülönböztető LDA 1. diszkriminációs faktorában legdominánsabb (100%) szenzorhoz viszonyítva. ⁺⁺⁺ AlphaSoft v16 AroChemBase v7 adatbázis alapján

¹ PubChem adatbázis alapján

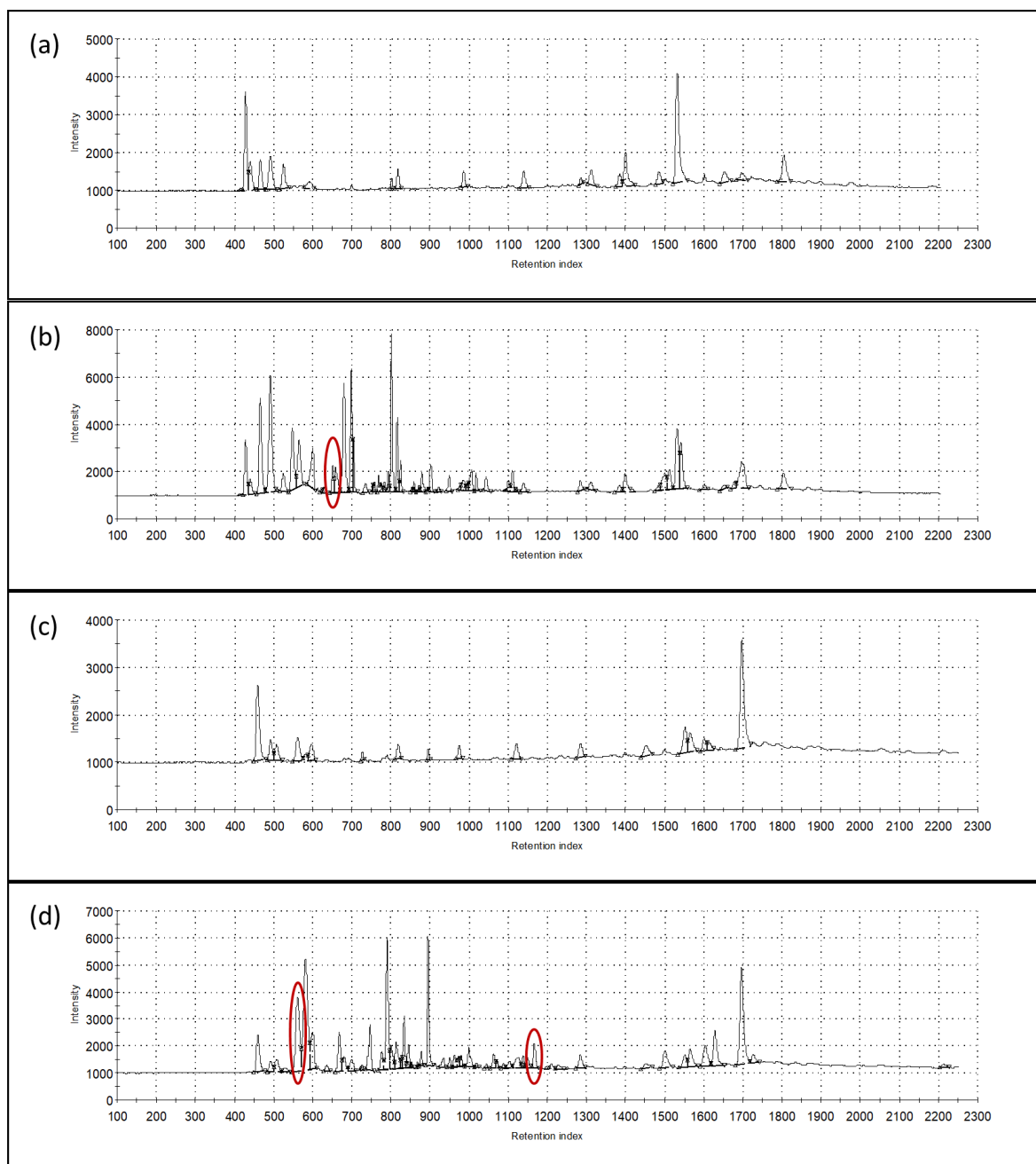
² Kang és mtsai (2014) alapján.

Kang és mtsai. (2014) a tehéntejben található illékony vegyületeket vizsgálta GC-MS elektronikus orr rendszerrel. Mintegy 30 illékony vegyületet azonosítottak, köztük aldehideket, 2,2,3-trimetil-3-oxetanolt, 1-pentanolt, 1-hexanolt, 3-metil-1-butanolt, 1-oktanolt, 4-metil-1-

pentént, vajsavat, benzoésavat és heptánsavat, továbbá 3-metil-butanolt is találtak a nem ízesített tejben. A szerzők öt olyan illékony vegyületet azonosítottak, amelyek avasodást jelezhetnek a tejben; ezek közül az egyik az acetaldehid, a többi az 1-hexanol, az 1-pentanol, valamint a vajsav és a heptatonsav volt.

A malondialdehid a hosszú szénláncú többszörösen telítetlen zsírsavak legnagyobb mennyiségben előforduló peroxidációs metastabil végterméke, különösen azok esetében, amelyekben kettőnél több kettős kötés található (Bird és Draper, 1984; Esterbauer és mtsai, 1991). Ezért a malondialdehid lipid prekursorai *in vivo* főleg az ARA és a DHA (Esterbauer és mtsai, 1991). Az acetaldehid a PUFA-k peroxidációja során képződő mitokondriális aldehid-dehidrogenáz malondialdehid-metabolizmusának terméke (Siu és Draper, 1982). Mivel a hosszú szénláncú, többszörösen telítetlen n-3 zsírsavak különösen érzékenyek az oxidációra (Yin és Porter, 2011), jelenlétük fokozhatja a lipidperoxidációt (Hammer és Wills, 1978), ennek következtében a malondialdehid-acetaldehid képződését, amelyből az utóbbi megjelent a rögzített aromaprofilokban. A tejsav mellett az acetaldehid is fontos összetevője a tej fermentációjának (Gutiérrez-Méndez és mtsai, 2008; Liu és mtsai, 2016), amely a nem steril környezetben gyűjtött kocatejminták rövid tárolása során is bekövetkezhetett.

A 8. ábra a hozzáadott NO és HO kromatogramjait mutatja, a tejméréshez használt elektronikus orr készülékkel mérve. Az olajok aromaprofiljai rávilágítanak az illékony vegyületeik jelentős különbségeire. A csúcsok annotációi szerint az FO jellemző retenciós indexei: 666 az 1-A oszlopon (MXT-5), 566 és 1117 a 2-A oszlopon (MXT-1701), és ezek a csúcsok jelentősen meghaladják az NO értékeit. Ezeket a retenciós indexeket a kísérleti tejmintákban is azonosítottuk. Ez felhívja a figyelmet arra a lehetőségre, hogy a hozzáadott olajban (HO) és a kocatejben is kimutatott illatanyagok átjuthatnak a kocák anyagcsererendszerén és közvetlenül a takarmányozás hatására jelenhetnek meg a tejben.



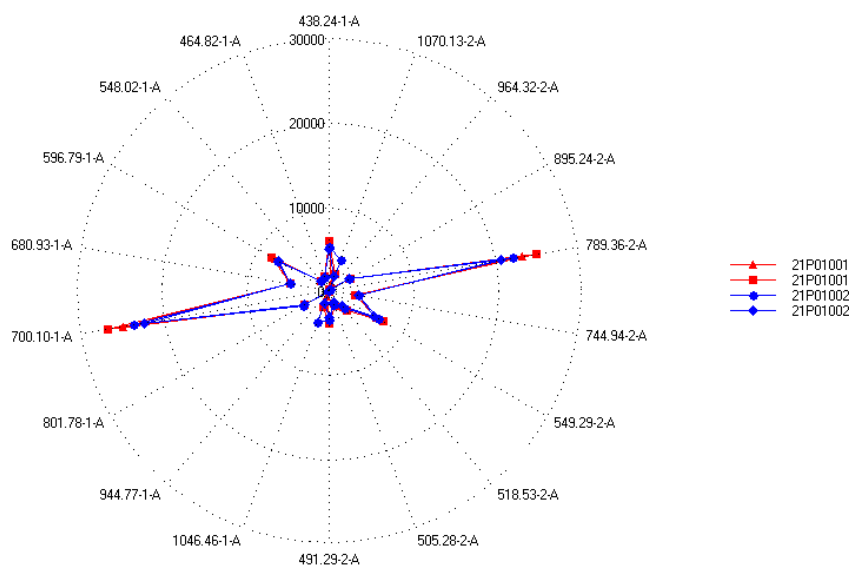
8. ábra. A napraforgóolaj (a, c) és halolaj (b, d) MXT-5 (a, b) és MXT-1701 (c, d) GC oszlopokkal rögzített kromatogramja az első kísérlet tejmintáiban megjelenő halolajra jellemző csúcsok (retenciós index 666 az 1-A oszlopon, 566 és 1117 a 2-A oszlopon, a hozzárendeléshez lásd a 20. táblázatot) megjelölésével (piros körök)

3.4.5. A különböző takarmányminták illatprofil-meghatározása e-orrral

3.4.5.1. A második kísérlet takarmánymintáinak elemzése

Általánosságban elmondható, hogy az egyes takarmánymintákat egyéni illatkomponensek jellemzik, amelyek alapján elkülöníthetők egymástól. Az elektronikus orr mérési biztonságának kiderítése céljából több, párhuzamos kiegészítő takarmánymintát is megvizsgáltunk a második

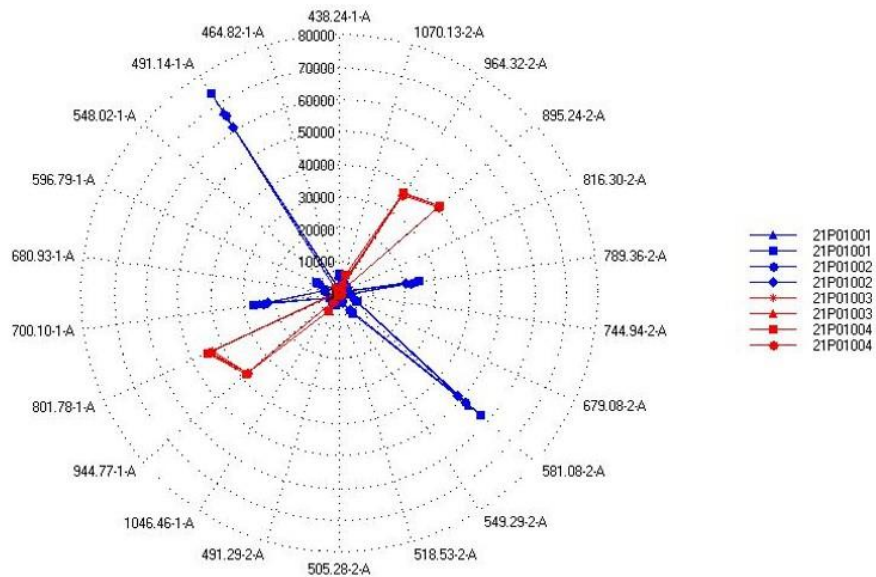
kísérletben alkalmazottak közül. A párhuzamos mérések mintázatát szemlélteti a 9. ábrán látható pókhálódiaagram.



9. ábra. A második kísérletben gyűjtött kísérleti kiegészítő takarmány két párhuzamos mintájának 2-2 ismétlésben mért illatprofilja

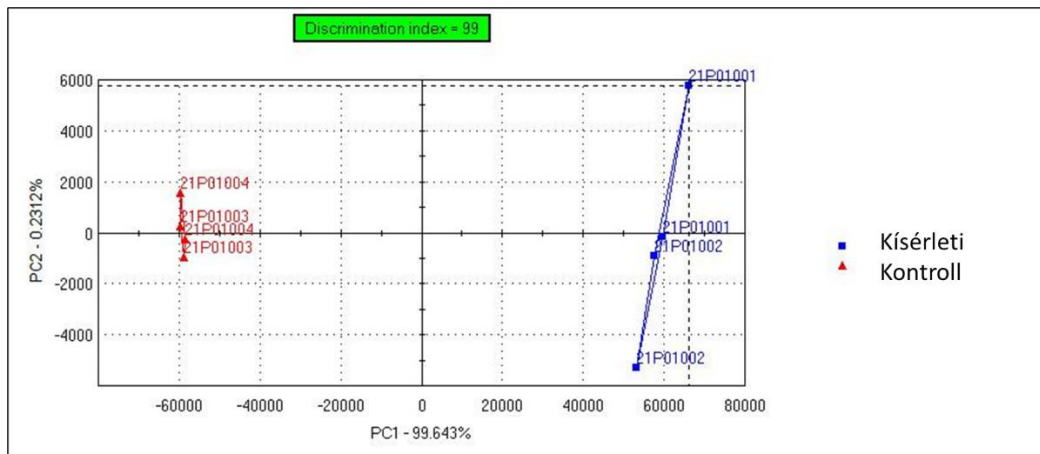
A párhuzamos minták kromatogramjait elemezve azt tapasztaltuk, hogy a mintákra jellemző illatkomponensek retenciós indexei ± 5 tűréshatáron belül megegyeztek, ami az elektronikus orr mérési módszer stabilitását igazolta.

A második kísérlet kiegészítő takarmányait főkomponens analízissel vizsgáltuk meg. A minták szétválását a kromatogramokból kinyert virtuális szenzorokhoz tartozó intenzitásértékek alapján értékeltük. A minták összehasonlítása során kiderült, hogy a kontroll és kísérleti kiegészítő takarmányok illatmintázata eltérő, mely jól megfigyelhető a pókháló diagramon (10. ábra).



10. ábra. A második kísérlet kontroll (piros) és a kísérleti (kék) kiegészítő takarmányinak illatmintázata

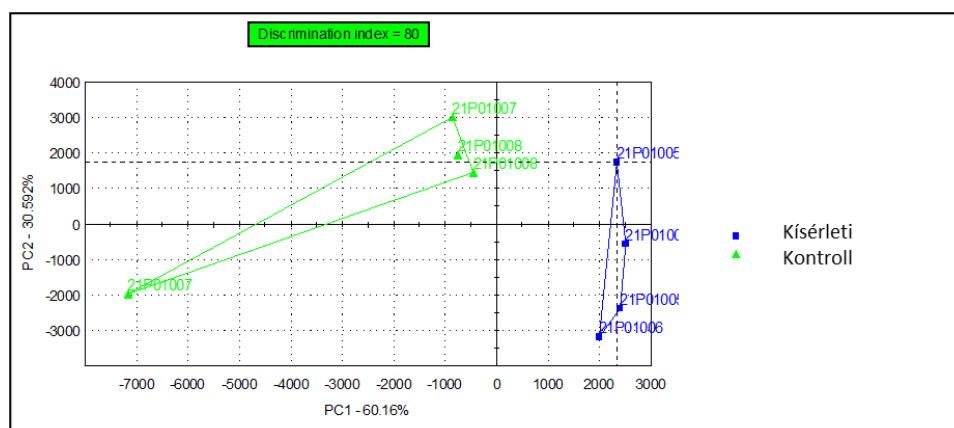
Megvizsgáltuk, hogy a kontroll és kísérleti kiegészítő takarmányok illatkomponensei különböznek-e annyira, hogy ezáltal a két csoport szétválasztható legyen. A PCA elemzés (11. ábra) alapján elmondható, hogy az első főkomponens (PC1) által leírt variancia (99,643%) egyértelmű elkülönülést okoz a halolaj és a napraforgóolaj alapú kiegészítő takarmány minták illatprofiljai között.



11. ábra. A második kísérlet kontroll és kísérleti kiegészítő takarmányainak PCA elemzése

A kapott eredmények alapján valószínűsítettük, hogy a kiegészítő takarmányok hozzáadásával készült készítapok is megkülönböztethetőek lesznek illatmintázatuk alapján. A 12. ábrán a második kísérlet kontroll, illetve kísérleti készítapjainak főkomponens elemzéssel készült illatprofil összehasonlítása látható. Az ábra alapján megállapítható, hogy a kontroll és a kísérleti

késztaarmányminták egyértelműen elkülöníthetők egymástól. Az első főkomponens (PC1) által leírt variancia 60,160%, míg a második főkomponens által leírt variancia (PC2) 30,592%.



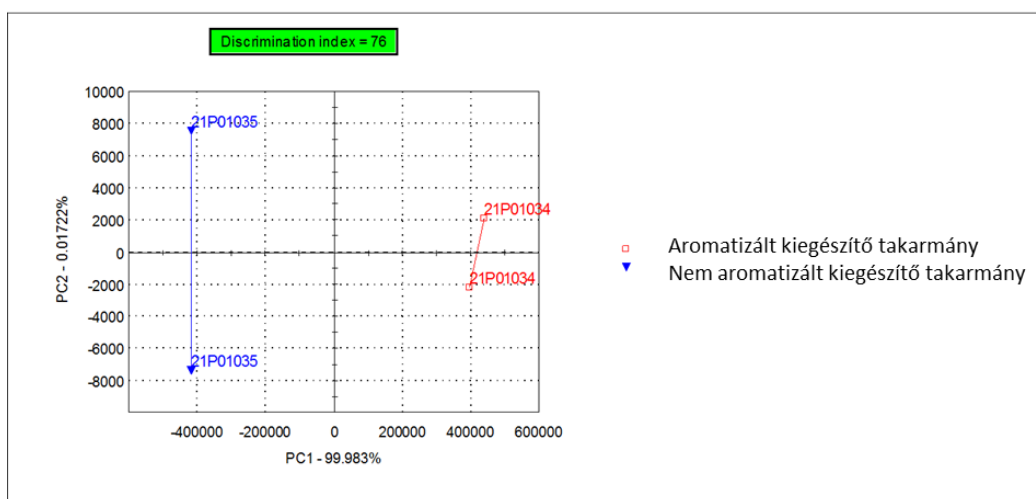
12. ábra. A második kísérletben készített kontroll és kísérleti kocatápok PCA elemzése

A második kísérlet kiegészítő takarmány- és késztaarmányainak elemzése alapján elmondható, hogy az elektronikus orr képes különbséget tenni a napraforgóolajból és a halolajból készült kiegészítő takarmányok, illetve az ezek felhasználásával készült késztaarmányok között illatprofiljuk alapján.

3.4.5.2. A harmadik kísérlet takarmánymintáinak elemzése

A harmadik kísérlet során a szoptató, illetve a búgató kocatápokba kevert halolaj alapú kiegészítő takarmányokat aromatizáltuk, viszont a vemhes koca takarmányokba szántat nem. Az elektronikus orr segítségével azt is megvizsgáltuk, hogy az aromatizálás okoz-e különbséget az egyes kiegészítő takarmányok illatprofiljában.

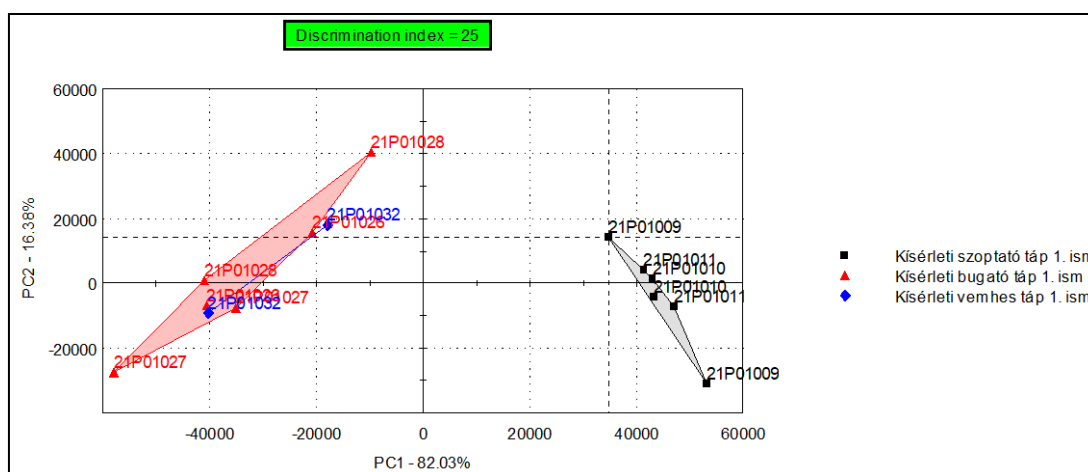
A 13. ábrán látható PCA analízis eredménye alapján megállapítható, hogy az aromatizált kísérleti minták határozottan elkülönülnek az aroma nélküli kiegészítő takarmányoktól. Az illatprofilok varianciájának szinte 100%-át leíró 1. PC menti elkülönülés nagyon jelentős (800.000).



13. ábra. A harmadik kísérletben használt aromatizált és aroma nélküli kiegészítő takarmányok PCA elemzése

A harmadik kísérlet esetében hatféle készkép vizsgálatát végeztük el elektronikus orr segítségével. Összehasonlítottuk az első és második ismétlés során etetett kísérleti készképeket, valamint a kontroll és kísérleti tápeket is. A kísérleti szoptató és bűgató kocatápok aromatizált kísérleti kiegészítő takarmányt tartalmaztak, a kísérleti vemhes koca takarmányban viszont aroma nélküli kísérleti kiegészítő takarmány volt.

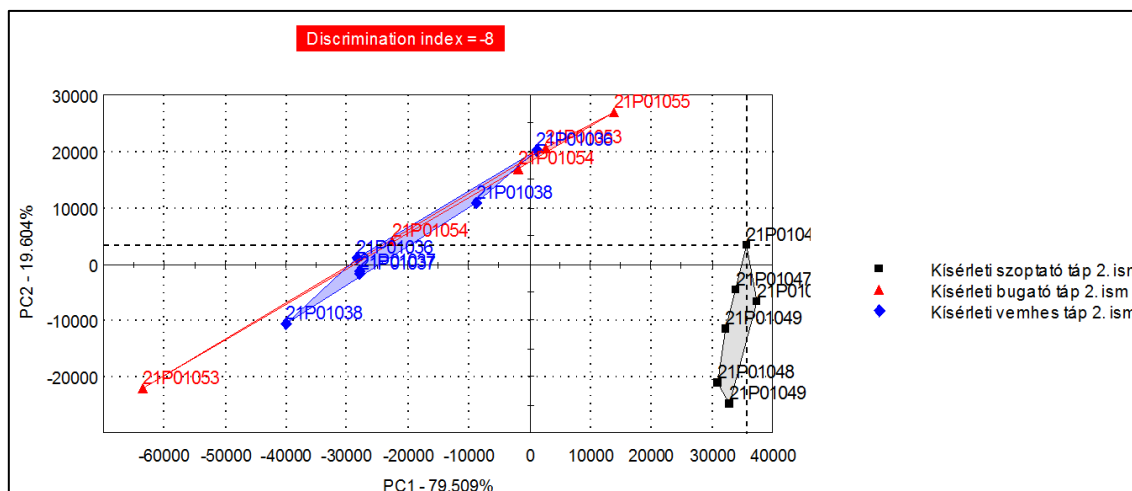
A harmadik kísérlet első ismétlése során etetett kísérleti készképek minták PCA analiziséből megállapítottuk, hogy a kísérleti szoptató táp egyértelműen megkülönböztethető a kísérleti vemhes és bűgató tápektől, de a két utóbbi csoport nem válik el egymástól (14. ábra).



14. ábra. A harmadik kísérlet első ismétlése során etetett kísérleti kocatápok (szoptató, bűgató, vemhes) PCA elemzése

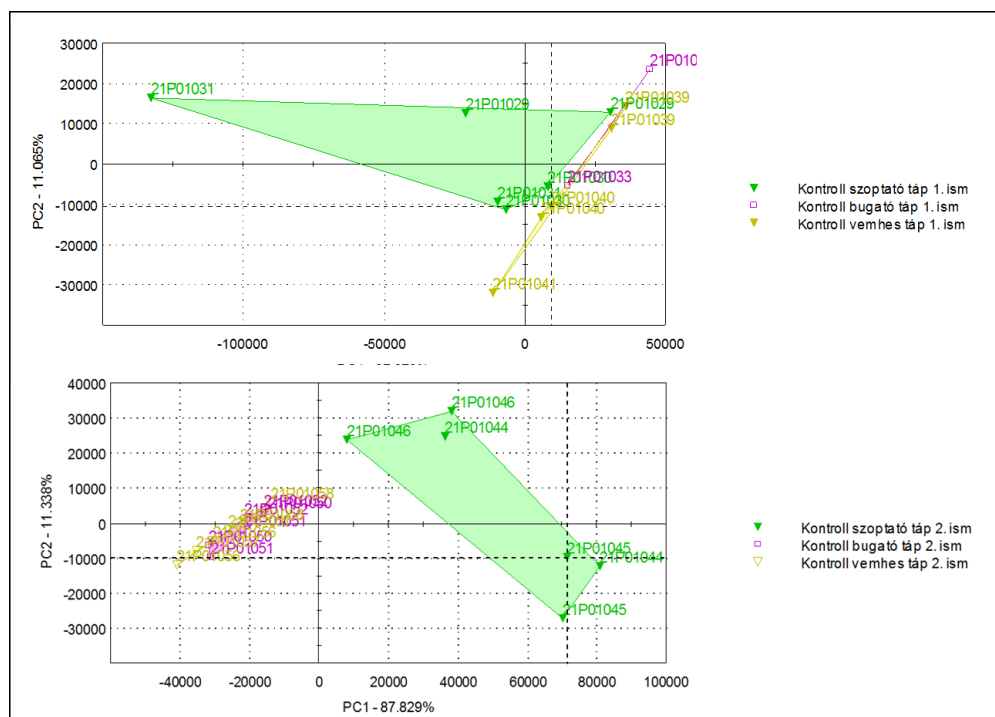
A második ismétlés során ugyanezt tapasztaltuk (15. ábra), azaz a kísérleti szoptató táp elkülönült a másik két csoporttól, de a vemhes és bűgató kísérleti tápek nem különíthetők el egymástól. A tápek természetes illatában mutatkozó különbség tehát felülírta a kiegészítő

takarmányok aromizálásából adódó különbségeket, amennyiben a tápok esetében nem az aromizálás szerint különültek el a csoportok, hanem az egyes tápféleségek szerint.



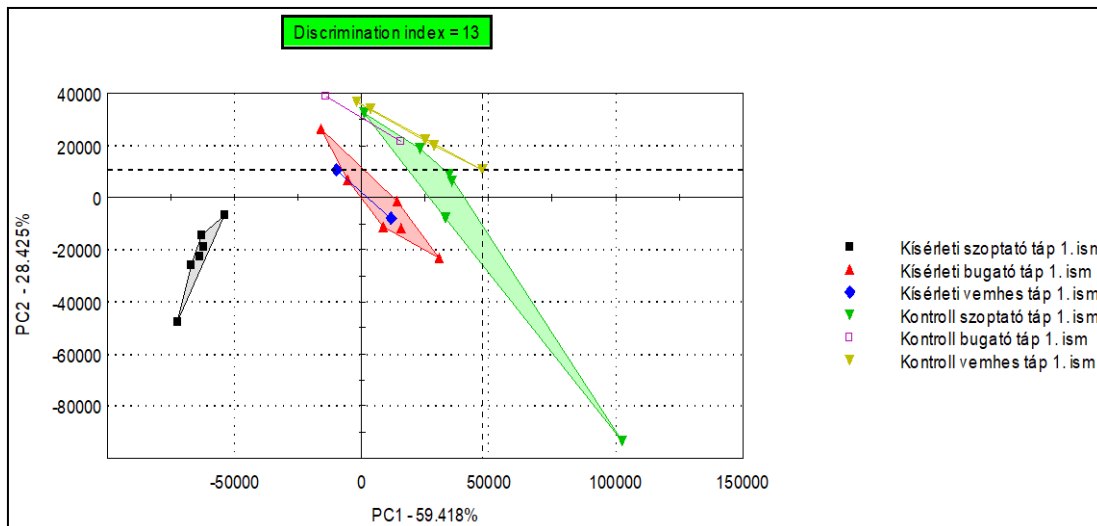
15. ábra. A harmadik kísérlet második ismétlése során etetett kísérleti kocatápok (szoptató, búgató, vemhes) PCA elemzése

A fent leírt elemzést a kontroll kocatápok esetében is elvégeztük és megállapítottuk, hogy mindkét ismétlés során az etetett kontroll kocatápok közül egyedül a szoptató koca takarmány volt az, ami egyértelműen megkülönböztethető a többi típustól, ami a kísérleti kocatápokkal kapcsolatos megállapításunkat igazolta (16. ábra).



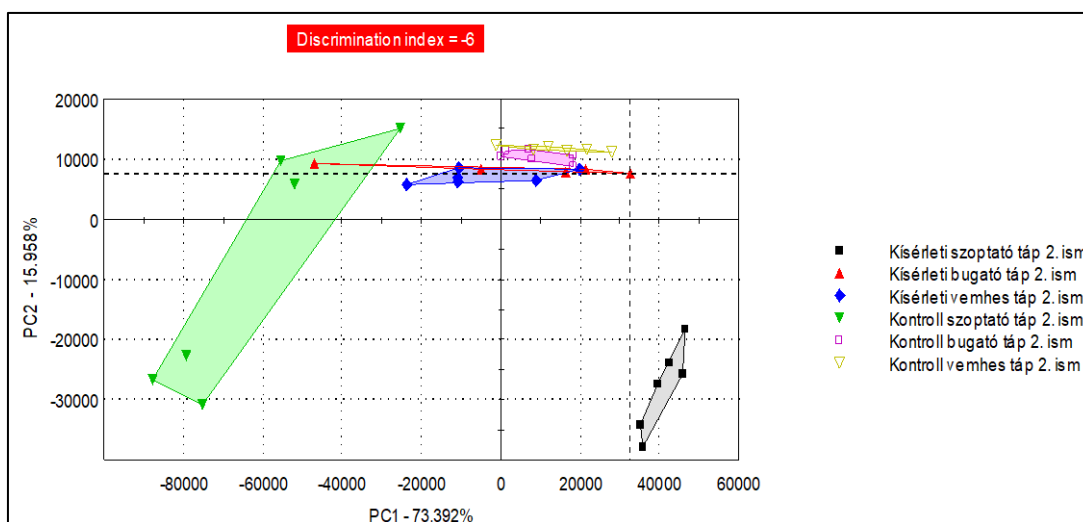
16. ábra. A harmadik kísérlet első és második ismétlése során etetett kontroll kocatápok PCA elemzése

Végül megvizsgáltuk, hogy az elektronikus orral elkülöníthetőek-e egymástól a kísérleti és kontroll kocatápok. Az első ismétlés késztakarmányainak főkomponens analízis eredménye alapján a kísérleti és kontroll minták két külön csoportba oszthatóak, tehát elkülöníthetőek egymástól (17. ábra).



17. ábra. A harmadik kísérlet első ismétlésében etetett kontroll és kísérleti kocatápok PCA diagramja

A második ismétlés során etetett késztakarmányok esetében azonban már nem tudtuk egyértelműen elkülöníteni a kísérleti és kontroll takarmányokat egymástól, mert a kísérleti bugató táp és a kontroll szoptató táp PCA diagrammja átfedést mutatott (18. ábra).



18. ábra. A harmadik kísérlet második ismétlésében etetett kísérleti és kontroll kocatápok PCA diagramja

A harmadik kísérlet tapasztalatai alapján az elektronikus orr alkalmazásával jól elkülöníthetőek a kísérleti kiegészítő takarmányok aromizáltságuk alapján. A késztakarmányokba keverve azonban az aromizáltság hatását felülírja az egyes

késztaarmányokra jellemző egyedi illatprofil. A kontroll és kísérleti késztaarmányokat csak az első ismétlésben különítette el egyértelműen egymástól az elektronikus orr. A második ismétlésben a 6 vizsgált késztaarmánymintából kettő esetében (kontroll szoptató és kísérleti búgató táp) az illatprofil átfedést mutatott.

3.4.6. Lipidperoxidáció és az antioxidáns rendszer

Az első kísérlet egyes ismétlései során vett vérminták vérplazmájában és a vörösvértest hemolizátumában található antioxidáns és lipid peroxidációs folyamatokat jelző markerek (GSH, GPx, MDA) értékei között nem volt számottevő különbség a két ismétlés között (kezelés × ismétlés), így az adatok összevonásra kerültek.

A halolaj etetése statisztikailag szignifikáns változásokat idézett elő a szoptatás alatt a GPx aktivitásban mind a vérplazmában, mind a vörösvértest hemolizátumokban ($p=0,009$ és $p=0,003$), valamint a termékenyítés alatt a GSH-szintjében a vörösvértest hemolizátumban ($p=0,038$) a napraforgóolajjal összehasonlítva (22. táblázat).

A kezelés × termelési időszak szignifikáns hatást gyakorolt a kísérleti állatok vérplazmájának GPx aktivitására. A vörösvértest hemolizátumok esetében ez az interakció a kontrollcsoport GSH-tartalmára, a kísérleti csoportban pedig mindhárom paraméterre (GSH, GPx és MDA) hatással volt, ami azt jelzi, hogy a különböző termelési időszakok jelentősen befolyásolták ($p<0,001$) ezeket a paramétereket.

22. táblázat. Az első kísérlet vérmintáiban mért antioxidáns és lipidperoxidációs markerek az egyes termelési időszakokban (n=24/kezelés)

	A szoptatás 14. napja				A választás utáni 5. nap (termékenyítés)				A termékenyítés utáni 30. nap (ultrahangos vizsgálat)				P-érték, interakció (termelési időszak × kezelés)	
	KON	KÍS	SEM	P	KON	KÍS	SEM	P	KON	KÍS	SEM	P	KON	KÍS
Vérplazma														
GSH (μmol/ g fehérje)	2,74	2,82	0,08	0,995	3,01	2,97	0,09	1,000	2,61	2,82	0,16	0,803	0,080	0,461
GPx (E/g fehérje)	2,87 ^b	3,28 ^{aA}	0,12	0,009	3,00	2,83 ^B	0,07	0,703	3,11	3,01 ^B	0,06	0,907	0,082	0,005
MDA (μmol/ml)	9,67	10,94	0,28	0,422	10,50	9,70	0,38	0,841	10,71	11,05	0,73	0,997	0,220	0,139
Vörösvértest hemolizátum														
GSH (μmol/ g fehérje)	5,93 ^B	5,04 ^B	0,21	0,082	7,38 ^{bA}	8,38 ^{aA}	0,24	0,038	5,26 ^B	5,30 ^B	0,26	1,000	<0,001	<0,001
GPx (E/g fehérje)	3,75 ^b	4,74 ^{aA}	0,17	0,003	3,89	3,75 ^B	0,16	0,995	4,08	3,79 ^B	0,22	0,910	0,505	<0,001
MDA (μmol/ml)	12,18	12,81 ^{AB}	0,37	0,947	13,17	14,17 ^A	0,49	0,722	13,09	11,21 ^B	0,64	0,132	0,344	<0,001

KON=kontroll kezelés (napraforgóolaj); KÍS=kísérleti kezelés (halolaj); SEM=az átlag szórása
GSH=redukált glutation; GPx=glutation-peroxidáz; MDA= malondialdehid

a, b: statisztikai szempontból szignifikáns különbség a kontroll és a kísérleti csoport között egy termelési időszak alatt, P < 0,05 szignifikancia szint esetén

A, B: statisztikai szempontból szignifikáns különbség a kontroll és a kísérleti csoport között, különböző termelési időszakokban, P < 0,01 szignifikancia szint esetén

Vizsgálatunkban a magas n-3 zsírsav tartalmú halolaj alapú kiegészítő takarmány etetése nem okozott jelentős oxidatív stresszt a tenyészkocák számára, az inkább az n-6 zsírsavakat tartalmazó napraforgóolajjal összehasonlítva mutatkozott meg, amit az állatok vérplazmájában és vörösvértest hemolizátumában az MDA-tartalom, továbbá a glutation-redox rendszerben tapasztalható mérsékelt változás mutat. A szoptatás 14. napja és a választás utáni 5. nap között tapasztalt szignifikáns különbség a GPx aktivitásában azonban azt jelzi, hogy a halolaj etetése hatással lehet az antioxidáns védőrendszer működésére. Mindazonáltal a kapott eredmények alapján a halolaj etetése nem volt negatív hatással a kocák antioxidáns státuszára, mivel nem fokozta jelentősen a GPx aktivitását, így ebben az értelemben az etetett dózis (6,3 g/kg) biztonságosnak tekinthető.

A szakirodalomban több olyan közlemény is található, amely az n-3 zsírsavak antioxidáns- és lipidperoxidációs folyamatokra gyakorolt hatását vizsgálta sertések (Frankic és Salobir, 2011; Habeanu és mtsai, 2011; Lee és Kang, 2019), laboratóriumi rágcsálók (Venkatraman és mtsai, 1994; Miralles-Pérez, 2021), valamint emberek (Anderson és mtsai, 2014; Sley és mtsai, 2020) esetében, de vannak *in vitro* sejttenyészetekkel végzett vizsgálatok is (Lee és mtsai, 2016; Tatsumi és mtsai, 2018; Sundaram és mtsai, 2020). A fő különbség saját vizsgálatunk és a fent említett kutatások között, hogy jelen vizsgálatban a kontroll csoportokkal napraforgóolajból származó n-6 zsírsavakat etettünk, míg a korábbi kutatások negatív kontrollal szemben történtek.

Eredményeink részben összhangban vannak a Lee és Kang (2019) által tapasztaltakkal, akik tizenöt, 100 életnapos, hím törpesertésben [(Duroc × Yorkshire) × (Pot Valley × Berkshire) × Yucatan] vizsgálták a ciklofoszfamid (CTX) által kiváltott oxidatív stressz hatását n-3 zsírsavakban gazdag sertéstápok etetése közben, amely 55,75% ALA-t, 13,09% EPA-t és 15,16% DHA-t tartalmazott. Az eredmények azt mutatták, hogy az n-3 zsírsavakat fogyasztó állatok vérmintáiban a CTX-indukálta stresszfolyamatok növelték a szuperoxid-diszmutáz (SOD) és a GPx aktivitását és csökkentették az MDA szintjét a negatív kontrollal szemben. Az említett vizsgálat során, az antioxidáns rendszerre gyakorolt hatás valószínűleg az alkalmazott CTX-nek volt köszönhető, amely erős szabadgyökképző tulajdonságokkal rendelkezik. Frankic és Salobir (2011) viszont saját vizsgálatunkkal ellentétes eredményeket kapott amikor 48 db, [(svéd lapály × nagyfehér) × német lapály] választott malacot 14 napon keresztül 9,5% lenmagliszttel etettek (58% n-3 és 18% n-6 PUFA), ami növelte a vérplazma MDA-tartalmát.

Egy korábbi, laboratóriumi állatokkal végzett kísérletben kukoricaolajat, krillolajat és halolajat etettek nőstény egerekkel a késztakarmány 10%-os dózisában, az állatok 6,5 hónapos koráig és a májban működő antioxidáns enzimek (pl. SOD, GPx) génexpresszióját és aktivitását vizsgálták. A krillolajat és a halolajat fogyasztó egerek májában szignifikánsan magasabb enzimaktivitást mértek mind a GPx, mind a SOD esetében ($p < 0,001$), mint a kukoricaolajjal etetett

csoportban (Venkatraman és mtsai, 1994). A vizsgálat megmutatta továbbá, hogy az n-6 (kukoricaolaj) és az n-3 (krillolaj, halolaj) zsírsavak az antioxidáns enzimeket kódoló gének expressziójára és aktivitására, így az állatok antioxidáns státuszára gyakorolt hatásában jelentős különbségek lehetnek. Egy másik laboratóriumi állatkísérlet során a három hétig, nagy dózisban etetett (15%) DHA-t tartalmazó kiegészítés növelte az MDA szintjét a vérplazmában, a májban és a vesében egyaránt (Song és mtsai, 2000). Miralles-Pérez és mtsai. (2021) azt találták, hogy a tíz hétig tartó, magas DHA tartalmú halolaj (összes zsírsav 80%-a) 0,8 ml/testtömeg kg dózisban, közvetlenül a bélcsatornába juttatva fokozta a lipid-peroxidáció és a fehérje karboniláció mértékét és erős, antioxidáns válaszreakciót idézett elő laboratóriumi patkányokban.

Anderson és mtsai. (2014) programozott szívműtét előtt álló páciensekkel etettek közepesen magas dózisu n-3 zsírsavakat tartalmazó étrendet (3,4 g/nap EPA és DHA), 2-3 hétig. A vér EPA-szintje nőtt, a szívizomszövet EPA- és DHA-szintje pedig szignifikánsan magasabb volt az n-3 zsírsavakat fogyasztó betegek esetében, a kezeletlen, standard ellátásban részesült kontroll betegekkel szemben. Az n-3 zsírsavakkal kiegészített étrend fokozta a betegek szívizomszövetben a kulcsfontosságú antioxidáns enzimek, mint a GPx expresszióját és aktivitását. Egy terhes nőkn végzett vizsgálat pedig kimutatta, hogy a halolaj fogyasztása csökkentette a vizeletben található stresszparaméter, a 8-izo-PGF 2α szintjét, ami a terhesség alatti oxidatív stressz csökkenését jelezheti az anyai szervezetben (Sley és mtsai, 2020).

Lee és mtsai. (2016) az ALA kezelés hatását vizsgálták in vitro maturáció (IVM) körülményei között a sejtmag fejlődésére, a petesejtekben található GSH tartalomra, a meiotikus osztódás folyamatára, valamint a partenogenezist (PA) és a szomatikus sejtek sejtmagjának átültetését (SCNT) követő fejlődési képességekre sertésben. A 100 μ M ALA kezelés szignifikánsan növelte ($p < 0,05$) a petesejtek GSH-tartalmát (1,19 vs. 1,00 és 0,92 pixel/petesejt) összehasonlítva a szarvasmarha szérumalbuminal (BSA), illetve a sertés tüszőfolyadékkal (PFF) kezelt kontrollal. Az ALA-kezelés felgyorsította a petesejtérést, és a 100 μ M ALA-val kezelt petesejtek nagyobb arányban (89,6%) érték el a meózis második fázisát (MII-stádium), mint a kezeletlen kontrollok (75,5%), 33 óra elteltével. Tatsumi és mtsai. (2018) immortalizált egér Schwann-sejteken (IMS32) vizsgálták, a változó dózisban történő EPA és a DHA (2,5-25 μ M) kezelés citotoxicitást megelőző hatását oxidatív stressz indukálását követően. A vizsgált antioxidáns enzimek (pl. GPx) mRNS szintjét valós idejű reverz transzkripció polimeráz láncreakció (RT-PCR) segítségével határozták meg. Mind az EPA, mind a DHA dózisfüggő módon növelte több antioxidáns enzim mRNS szintjét, kivéve a SOD és a GPx enzimekét, habár az EPA és a DHA kezelés szignifikánsan növelte a vizsgált sejtek GSH-tartalmát a kontrollhoz képest. Sundaram és mtsai. (2020) sertés J2-bélepitél sejtvonallal (IPEC-J2) folytatott vizsgálatai kimutatták, hogy az EPA és DHA, 1:2 arányú kombinációja csökkenti a hámsejtekben végbemenő,

a lipopoliszaharidok, a dextranszulfát vagy a hidrogén-peroxid által kiváltott oxidatív károsodást.

3.4.7. Hormonvizsgálatok

A hormonszintek statisztikai elemzése során nem találtunk különbséget az ismétlések adatai között (kezelés × ismétlés), ezért az adatokat összevontuk. A szoptatás alatt, mind az E2, mind a 6-keto-PGF1 α esetében szignifikánsan kisebb szinteket tapasztaltunk a kísérleti csoportban ($p=0,035$, illetve $p=0,001$), de a P4 szintek között nem volt különbség (23. táblázat). A választást követő 5. napon (termékenyítés) a plazma P4 szintje szignifikánsan nagyobb volt ($p=0,036$) a kísérleti csoportban, míg a 6-keto-PGF1 α szintje alacsonyabbnak bizonyult ($p=0,056$), az E2-szintekben viszont nem volt különbség ($p=0,110$). A korai vemhesség időszakában (ultrahangos vemhességvizsgálat) nem volt szignifikáns különbség a P4-szintekben, de az E2 szignifikánsan kisebb volt ($p=0,012$) a kísérleti csoportban, a szoptatáshoz hasonlóan. Emellett a 6-keto-PGF1 α szintje is alacsonyabb volt a kísérleti csoportban ($p=0,077$, tendencia).

23. táblázat. Az első kísérlet különböző termelési időszakaiban tapasztalt hormonszintek ($n=24$ /kezelés)

		KON	KÍS	SEM	P-érték
A szoptatás 14. napja	P4 (nmol/l)	4,99	4,85	0,12	0,561
	E2 (pg/ml)	4,60 ^a	3,94 ^b	0,15	0,035
	6-keto-PGF1 α (pg/ml)	723 ^a	201 ^b	76,83	<0,001
5 nappal a választás után (termékenyítés)	P4 (nmol/l)	4,94 ^b	5,76 ^a	0,19	0,036
	E2 (pg/ml)	5,72	5,31	0,12	0,110
	6-keto-PGF1 α (pg/ml)	207	166 ⁺	12,67	0,056
30 nappal a termékenyítés után (vemhességvizsgálat)	P4 (nmol/l)	52,58	49,95	1,12	0,301
	E2 (pg/ml)	5,84 ^a	4,99 ^b	0,17	0,012
	6-keto-PGF1 α (pg/ml)	242	184 ⁺	17,08	0,077

KON=kontroll kezelés (napraforgóolaj); KÍS=kísérleti kezelés (halolaj); SEM=az átlag szórása
P4= progeszteron; E2=17 β -ösztadiol; 6-keto-PGF1 α =6-keto prosztaglandin F1 α

a, b: statisztikai szempontból szignifikáns különbség a kontroll és a kísérleti csoport között egy termelési időszak alatt, $P < 0,05$ szignifikancia szint esetén

⁺: statisztikai szempontból tendenciózus különbség a kontroll és a kísérleti csoport között egy termelési időszak alatt, $0,05 < P < 0,1$

Az eredmények alapján a plazma progeszteron (P4) szintjét a halolaj alapú kísérleti kiegészítő takarmány etetése szignifikánsan növelte a választás utáni 5. napon, napraforgóolaj alapú kontroll kiegészítéshez képest, míg a többi termelési fázisban nem volt ilyen hatása. A progeszteron (P4) termelését az ovulációt követő luteális fázisban kialakuló sárgatestek (CL) biztosítják (Giesert és mtsai, 2020). Vizsgálatunk során a kísérleti csoportokban lévő tenyészkocák esetében valószínűleg hamarabb történt meg az ovuláció, mivel a kísérleti állatoknál a választás és az ivarzás között eltelt idő átlagosan 0,8 nappal rövidebb volt (4,94 nap vs. 5,72 nap; nem

szignifikáns különbség). Emiatt a kísérleti csoportba sorolt állatoknál korábban indult el a P4 termelés, ami magyarázatot adhat a termékenyítés alatti magasabb P4 plazmaszintekre.

Az n-3 PUFA kiegészítés hatására jelentkező P4 szint növekedését a hormon csökkent lebomlása is okozhatta a vérplazmában (Hawkins és mtsai, 1995), de okozhatta a CL csökkenő érzékenysége is a PGF2 α luteolitikus hatásával szemben (Mattos és mtsai, 2000), vagy ami a legvalószínűbb a PGF2 α alacsonyabb szintje az endometriumban (MacLaren és mtsai, 2006).

Smit és mtsai. (2012) PIC Camborough kocasüldőkkel a vemhesség 60. napjától a szoptatás végéig (21 napos választás) tengeri alga alapú, n-3 zsírsavakban gazdag kiegészítést tartalmazó takarmányt etettek napi 84 g/állat dózisban, negatív kontrollal szemben. A választás és az ivarzás között eltelt idő, az ivarzási és vemhesülési arány nem különbözött a vizsgált csoportokban. A plazma P4-koncentrációja, 60-72 órával az ovuláció feltételezett időpontja után $9,94 \pm 0,62$ mg/l volt a kontroll és $9,17 \pm 0,64$ mg/l a kísérleti csoport esetében ($p=0,36$). Mitchell és mtsai. (2010) a 6 hétig tartó, 3 g/kg dózisú halolaj-kiegészítés hatására a tüszők méretének növekedését tapasztalták a standard takarmányozáshoz képest. A halolaj kiegészítést tartalmazó takarmányt fogyasztó kocák embriói közül szignifikánsan több érte el a blasztociszta fejlettségi állapotot ($p<0,05$), és az ezekben található sejtek száma is nőtt ($p=0,06$). Az E2 mennyisége, a follikulus stimuláló hormon (FSH) receptorát vagy a PGF2 α receptorát kódoló gének expressziója között nem volt különbség, de a P4 receptor és a prosztaglandin H szintetáz (PHS) génexpressziója csökkent a halolajjal etetett kocák tüszőinek granulosa sejtjeiben ($p<0,07$).

Az n-3 zsírsavaknak a vér progeszteron (P4) szintjére gyakorolt hatását főként kérődzőkben vizsgálták. Verma és mtsai. (2018) saját vizsgálatunkhoz hasonló tapasztalatokat szereztek Rohilkhandi kecskékkal végzett kísérleteik során. Három különböző dózisú (72, 156 és 312 mg EPA és DHA/ttkg) n-3 zsírsavkiegészítés közül csak a közepes dózis (156 mg/ttkg) idézett elő szignifikáns növekedést a P4 szintekben az ivarzást követő 14. napon, a kontroll csoportokhoz képest. Ezzel ellentétben a 72 és 312 mg/ttkg EPA és DHA etetése szignifikánsan csökkentette a szérum P4 szintjét. Robinson és mtsai. (1998), valamint Dirandeh és mtsai. (2013) tapasztalatai alapján az n-3 PUFA-ban gazdag étrend pozitív hatással volt a tehenek P4 szérumszintjére, de nem mindegyik n-3 zsírsav esetében. Robinson és mtsai. (2002) arra a következtetésre jutottak, hogy az ALA-ban gazdag takarmányozás csökkenti a plazma P4 szintjét a korai luteális fázisban, amit valószínűleg az ALA koleszterinszint csökkentő hatása idéz elő. Ez a hatás viszont közvetve a szteroidhormonok szintézisére is negatív hatással van, mert a koleszterin a szteránvázas szexuálszteroidok prekursora, amelynek csökkenése kihat a hormonok szintézisére is (Staples és mtsai, 1998).

A 17β -ösztadiol (E2) vérszintje mindhárom vizsgált termelési fázisban alacsonyabb volt a kísérleti csoportban, mint a kontrollban (két esetben szignifikánsan: a laktáció 14. napján és a termékenyítést követő 30. napon). Ezek az eredmények összhangban vannak Verma és mtsai. (2018) kutatásával, amelyben a halolaj-kiegészítés a szérumban E2-szintjének szignifikáns csökkenését eredményezte a kontrollcsoportéhoz képest. Eredményeink összhangban vannak kecskékkal (Mahla és mtsai, 2017), valamint tejelő tehenekkel (Childs és mtsai, 2008) végzett korábbi vizsgálatok tapasztalataival is. Az n-3 PUFA kiegészítésben részesült kísérleti állatok vérszérumban talált alacsonyabb E2-szintek oka a koleszterinszint csökkenése lehet, ami a szteroid hormonszintézis csökkenéséhez vezethet, mert a koleszterin a P4-hez hasonlóan az E2 előanyaga is (Staples és mtsai, 1998).

A korábbi, sertésekkel végzett kutatásokhoz képest kísérletünkben az állatok vérében található E2 szintek meglehetősen alacsonyak voltak (kontroll: $4,60 \pm 0,84$ – $5,84 \pm 0,80$ pg/ml; kísérleti: $3,94 \pm 0,72$ – $5,31 \pm 0,55$ pg/ml). Edwards és Foxcroft (1983) tanulmányában az ivarzás előtti E2 szintet 13 és 75 pg/ml között találták (átlag: 31 ± 4 pg/ml) többször fiatal lapály \times nagyfehér kockák vérplazmájában. Almond és Dial (1990) kutatásában a szérumban E2-koncentrációja, a preovulációs csúcsok értékeit figyelmen kívül hagyva, $10 \pm 1,7$ pg/ml és $16 \pm 4,5$ pg/ml között mozgott öt keresztezett, első fialású koca adatai alapján. A saját vizsgálatunk során tapasztalt és néhány korábbi kutatás E2 szintje közötti jelentős különbség hátterében az elmúlt évtizedek genetikai szelekciója és előrehaladása állhat, amely jelentősen megváltoztatta a mai modern tenyészkocák termelési mutatói mellett hormonháztartásukat is.

A $PGF2\alpha$ szintet jelző, 6-keto- $PGF1\alpha$ mennyisége mindhárom vizsgált termelési fázisban alacsonyabb volt a kísérleti csoportban, mint a kontrollban. Egy esetben szignifikánsan (a szoptatás 14. napján), a másik két esetben pedig tendenciaszerűen (a választás utáni 5. napon, a termékenyítést követő 30. napon). Ezen eredmények alapján az n-3 zsírsavakban gazdag, halolaj alapú kiegészítő takarmány csökkentette a $PGF2\alpha$ termelődését a kísérleti állatokban. A halolajban található EPA és a DHA szaporodásra gyakorolt hatása alapvetően az endometrium által termelt $PGF2\alpha$ mennyiségének csökkenésében nyilvánul meg, ami alapvetően a $\Delta 6$ -deszaturáz enzimen keresztül az ARA szintézisének kompetitív gátlásával, illetve az ARA-prostaglandin átalakulásért felelős prosztoglandin H szintetáz (PHS) közvetlen gátlásával magyarázható (Thatcher és Staples, 2000).

Eredményeink összhangban vannak Leroy és mtsai. (2008), eredményeivel, akik megállapították, hogy az n-3 PUFA etetés csökkenti a $PGF2\alpha$ képződését az endometriumban, ami javítja a sárgatestek (CL) vitalitását és ezáltal az embriók túlélési esélyét tejelő tehenekben. Chartrand és mtsai. (2003) ugyancsak a plazma $PGF2\alpha$ -szintjének csökkenéséről számoltak,

amikor a takarmány faggyú tartalmát lenmagolajjal (ALA-forrás) helyettesítették Yorkshire × lapály kocasüldők esetében, a korai vemhesség során. A szerzők szintén arra a következtetésre jutottak, hogy az alacsonyabb prosztaglandinszintek háttérében az ARA, illetve egyéb eikozanoid szubsztrátok csökkenése állhat.

Clément és mtsai. (1994) 21 életnapos, nagyfehér emsékkel végzett kutatásai során az állatok kontroll, illetve csökkentett dózisban esszenciális zsírsavakat (EFA) tartalmazó malactápot fogyasztottak. A kontroll táp 4000 mg LA-t és 300 mg ALA-t tartalmazott 100 g takarmányonként, míg az EFA-csökkentett malactáp csak 50 mg LA-t és 15 mg ALA-t /100 g takarmány. Azt tapasztalták, hogy a kontroll csoporthoz képest ($26,2 \pm 0,51\%$), az EFA-hiányos takarmányt fogyasztó állatok szervezetében az LA $5,6 \pm 0,51\%$ -ra csökkent az összes zsírsav százalékában ($p < 0,0001$). Az ARA csökkenése szintén szignifikáns volt a kontrollhoz képest ($7,46 \pm 0,72\%$ vs. $4,75 \pm 0,19\%$ -ával; $p < 0,01$), ami egyértelműen igazolja, hogy a takarmányba kevert, többszörösen telítetlen zsírsavak mennyiségének változtatásával, hatékonyan befolyásolható a szervezetben előforduló zsírsavak mennyisége.

Laboratóriumi rágcsálók makrofágjaival végzett tanulmányok kimutatták, hogy az n-3 zsírsavak fokozott bevitele többek között, az aktív prosztanoidok (pl. a 2-es típusú prosztaglandinok) termelésének csökkenésével jár (Kelly és mtsai, 1985). Ennek az lehet az oka, hogy a nagyobb mennyiségben jelenlévő n-3 zsírsavak a szövetek foszfolipidekben gazdag régióiban az ARA-t helyettesítve épülnek be. Felszabadulásuk után pedig, a korábban bemutatott kompetitív hatásmechanizmus révén hatékonyan csökkentik az n-6 zsírsavakból képződő 2-típusú prosztaglandinok mennyiségét (Abayasekara és Wathes, 1999).

A leírtakat humán vizsgálatok eredményei is megerősítik. Alzheimer-kórban (AD) szenvedő betegek halolajból származó, n-3 zsírsavakkal (0,6 g EPA és 1,7 g DHA/nap) történő 6 hónapos kezelése szignifikánsan csökkentette a perifériás vér mononukleáris sejtjeinek (PBMC) $PGF2\alpha$ termelését a kiindulási átlagértékhez képest ($p = 0,007$), ellentétben a placebóval kezelt páciensekkel.

3.4.8. Petefészekvizsgálat

A 2790 és 1022 fülszámú kocák kezdődő ivarzási tüneteket mutattak a vágás előtt. A 2790 fülszámú kontroll koca petefészkei 3,5-4 cm átmérőjűek voltak. A bal petefészekben 10 db, míg a jobb oldali petefészekben 13 darab (összesen 23 db) harmadrendű (tertier) tüszőt találtunk. Korábbi ivari tevékenységre utaló corpus albicans (CA) képlet csak nehezen volt azonosítható a petefészekken (19.-20. ábra). A petefészekken látható képletek alapján a koca jó eséllyel termékenyült volna a 13. alkalommal is.



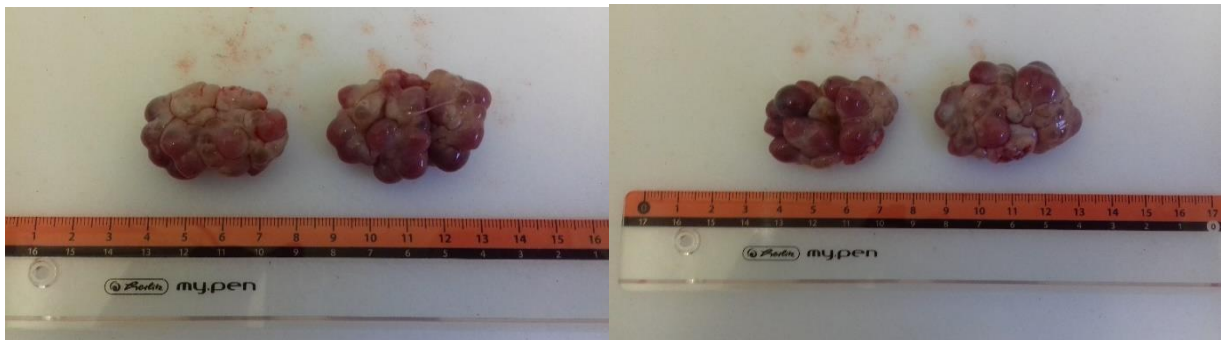
19.-20. ábra. A 2790 fűlszámú koca petefészkei

Az 1022 fűlszámú kísérleti koca petefészkei 3-3 cm átmérőjűek voltak. A bal petefészken 16 db, míg a jobb oldalin 13 darab (összesen 29 db) harmadrendű (tertier) tüszőt azonosítottunk. A petefészkeken korábbi ivari tevékenységre utaló corpus albicans képletek is jelentős számban voltak láthatóak (21.-22. ábra). A petefészkeken talált képletek alapján a koca jó eséllyel termékenyült volna 8. alkalommal is.



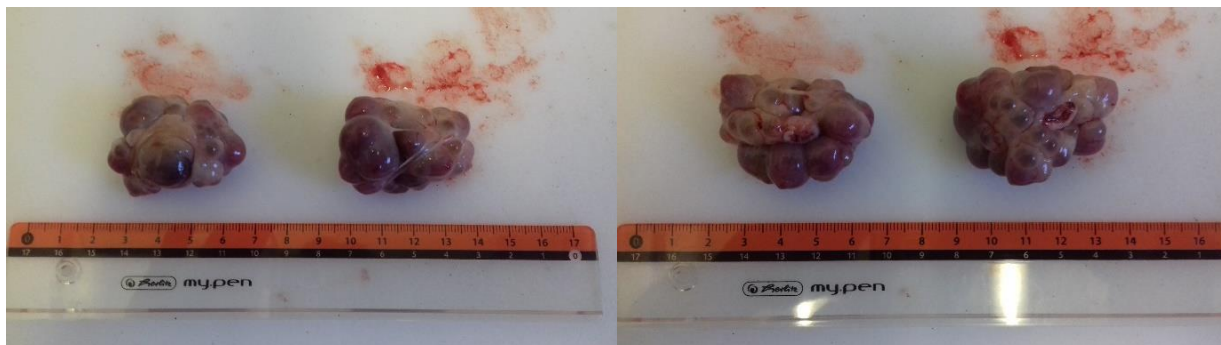
21.-22. ábra. Az 1022 fűlszámú koca petefészkei

Az 1035 és 1005 fűlszámú kocák a választást követő 12. napon kerültek levágásra, tehát ivari ciklusuk a diösztrusz fázisban volt, amikor az ovulációt követően a progeszterontermelés már erőteljes. A 1035 fűlszámú kontroll koca petefészkei 3-4 cm átmérőjűek voltak. A bal petefészken 13 db, míg a jobb oldali petefészken 12 darab (összesen 25 db) corpus haemorrhagicumot (CH), valamint 12-13 db alacsonyabb rendű tüszőt találtunk (23.-24. ábra). Korábbi ivari tevékenységre utaló néhány corpus albicans képlet szintén azonosítható volt a petefészkeken. A képletek alapján a koca jó eséllyel termékenyült volna 7. alkalommal is.



23.-24. ábra. Az 1035 fűlszámú koca petefészkei

Az 1005 fűlszámú kísérleti koca petefészkei ugyancsak 3-4 cm átmérőjűek voltak. A bal és a jobb petefészkeken 13-13 db (összesen 26 db) corpus haemorrhagicum, valamint 15 és 14 alacsonyabb rendű tüsző volt látható (25.-26. ábra). A petefészkeken korábbi ivari tevékenységre utaló corpus albicans képletek is láthatóak voltak. A petefészkeken látható képletek alapján a koca jó eséllyel termékenyült volna 11. alkalommal is.



25.-26. ábra. Az 1005 fűlszámú koca petefészkei

24. táblázat. A második kísérlet petefészkevizsgálatainak tapasztalatai

	Kontroll	Kísérleti
A választás utáni 5. nap		
Fűlszám	2790	1022
Paritás vágáskor	12	7
Petefészkek mérete (cm)	3,5-4	3
Tüszők (db)	23	29
corpus albicans	-	igen
corpus haemorrhagicum (db)	-	-
A választás utáni 12. nap		
Fűlszám	1035	1005
Paritás vágáskor	6	10
Petefészkek mérete (cm)	3-4	3-4
Tüszők (db)	12-13	14-15
corpus albicans	-	igen
corpus haemorrhagicum (db)	25	26

Összességében elmondható, hogy a nagy n-3 zsírsavtartalmú halolaj 12,6 g/kg dózisban történő etetése a szoptatás alatt pozitívan befolyásolta a tenyészkocák petefészkein található különböző stádiumú tüszők és a corpus albicansok mennyiségét, az n-6 zsírsavakat tartalmazó napraforgóolaj, hasonló dózisban történő etetésével szemben (24. táblázat).

A szoptatás alatt 12,6 g/kg dózisban etetett n-6 és n-3 zsírsavaknak a tenyészkocák ivari működésére gyakorolt hatását vizsgáltuk az állatok petefészkek képletei alapján. A vizsgálatba két kontroll (2790, 1035) és két kísérleti kocát (1022, 1005) vontunk be. Mindegyik állat egészséges volt, selejtezésükre, illetve levágásukra előrehaladott koruk és magas paritásuk miatt került sor. A

választás utáni 5. napon történt vizsgálatok alapján a kísérleti koca (1022) petefészkein együttesen több (összesen 29 db) tüszőt találtunk a kontrollhoz képest (23 db tüsző). A választás utáni 12. napon végzett vizsgálat során a petefészkeken található, erre az időszakra jellemző corpus haemorrhagicum képletek számában nem volt jelentős különbség a két kezelés között (kontroll 25 db, kísérleti 26 db), de a képletek (CH) a kísérleti koca esetében (1005) jóval nagyobbak voltak (27.-28. ábra) és a petefészkeken található „fiatal” tüszők is fejlettebb állapotban voltak a kísérleti állat esetében.



27.-28. ábra. Az 1035 (alul) és az 1005 (fölül) fűlszámú kocák petefészkei és az azokon található képletek

A szakirodalomban nagyon kevés az olyan tudományos közlemények száma, amelyek kimondottan az n-3 zsírsavak tenyészkocák petefészkek képleteire gyakorolt hatását vizsgálta volna. Petrone és mtsai. (2019) nagyfehér x lapály kocasüldőknek (n=12) adagoltak 4%-os halolaj (Menhaden) kiegészítést termékenyítéstől a választásig. A fialási arány nem változott, de nőtt az alomméret ($p=0,04$), ami azt jelzi, hogy a kísérleti állatok petefészkein több, nagyobb méretű tüsző ovulált, illetve több petesejt termékenyült meg. Ugyanezek a szerzők fiatal emsékkel is folytattak kísérletet. A kísérleti takarmány etetése a választás után indult. Az ivarérést jelző első ivarzás követően 8-11 nappal a kocasüldőket levágták, belső ivarszerveiket megvizsgálták. A menhaden olajat tartalmazó tápok etetése csökkentette az ivarérés idejét (195,5 vs. 203,5 nap; $p=0,09$) és növelte a tüszőfolyadék mennyiségét (5 vs. 3,7 g; $p=0,09$), de nem volt hatással a belső ivarszervek tömegére és az első ivarzás utáni sárgatestek számára.

A petefészkek vizsgálatával kapcsolatos eredményeink összhangban vannak egy korábbi vizsgálat tapasztalataival, amikor tengeri algából származó, napi 84 g n-3 zsírsavakkal történő kiegészítést követően nagyobb méretű sárgatesteket találtak a vemhesség 30. napján eutanizált, első fialású kocák petefészkein (Smit és mtsai, 2012).

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kocák többszörösen telítetlen zsírsavakkal történő etetése hatással van kocatej zsírsavprofiljára. Kukorica-szója alapú takarmányozás mellett, a viszonylag alacsony dózisban (6,3 g/kg) etetett halolaj szignifikánsan növelte a legmagasabb biológiai értékkel rendelkező n-3 zsírsavak (EPA, DPA, DHA) mennyiségét a kocatejben. A kocatej n-6/n-3 arányának csökkenése azt mutatja, hogy az n-3 zsírsavak sikeresen kiválasztódnak a tejbe, tehát a koca takarmányozásán keresztül a fiatal malacok is fel tudják venni az említett zsírsavakat. A halolajkiegészítés a napraforgóolajhoz képest megkülönböztethető változást idézett elő a kocatej elektronikus orral rögzített illatprofiljában is. Ennek oka vizsgálataink alapján részben az lehet, hogy a halolajban található telítetlen zsírsavak több kettős kötést tartalmaznak, aminek következtében érzékenyebbek az oxidációra és az ennek során képződő vegyületek felelősek az illatbeli különbségért.

A halolaj már alacsony dózisban is kimutatható hatással van mind késztakarmányok, mind a kocatej illatára, emiatt fontos, hogy ne csak a kocák és malacok teljesítményére, hanem a kocák takarmányfelvételére gyakorolt hatásokat is vizsgáljuk. Az ilyen preferencia-tesztekben fontos szerepet kaphat az elektronikus orr, mint alternatív technológia. Magasabb dózisú halolaj etetés esetén (pl. 12,6 g/kg) már számolni kell az esetleges takarmányfelvétel csökkentő hatással, ami negatívan befolyásolhatja a kocák és malacok teljesítményét.

A kísérletek során részletesen vizsgált szaporodásbiológiai teljesítménnyel kapcsolatos tapasztalatok több, gyakorlati szempontból fontos következtetés alapjául szolgáltak. A halolajban található n-3 zsírsavak (EPA, DPA, DHA) hosszú távú, mérsékelt dózisban történő etetése előnyösebb, mint a rövidebb távú, de magasabb dózisban történő etetés, aminek háttérben valószínűleg az áll, hogy az említett zsírsavak folyamatosan rendelkezésre állnak a szervezetben.

A petefészekképletek vizsgálata során kiderült, hogy az n-3 zsírsavak szoptatás alatt történő etetése növeli a tüszők számát és méretét, ami életképesebb petesejteket, valamint nagyobb, több P4-et termelő sárgatestet eredményez, ami hozzájárul az embriók életképességének növekedéséhez. Ebből fakadóan a kocák hamarabb ivarzanak a választást követően, továbbá nő a vemhesülési és a fialási arány és nő a megszületett malacok száma is. Végeredményben pedig csökkenhet a szaporodásbiológiai okokból történő selejtezések száma.

A 6,3 g/kg dózisban etetett halolaj a napraforgó kiegészítéssel összehasonlítva szignifikáns hatással volt a tenyészkocák GSH szintjére és a GPx aktivitására. A halolajból származó n-3 zsírsavak ebben a dózisban előnyösen befolyásolták az antioxidáns rendszer működését, és nem idézték elő a rendszer káros mértékű aktivitását a kontroll csoporthoz képest, így az etetett mennyiség ebből a szempontból biztonságos dózisnak tekinthető.

Az általunk vizsgált hormonokkal (E2, P4, 6-keto-PGF1 α) kapcsolatos tapasztalatok hasonlóak más fajokkal, főként kérődzőkkel végzett korábbi kutatások eredményeihez. Az n-6 és n-3 zsírsavak hatása a vizsgált hormonok szintjére azzal magyarázható, hogy egyrészt közvetett módon befolyásolják szintézisüket, másrészt ellentétes hatásuk van a PGF2 α termelésre. Az n-6 zsírsavak ugyanis segítik a PGF2 α képződését, míg az n-3 zsírsavak gátolják azt, amit mindhárom vizsgált időszakban sikerült igazolnunk. Ez utóbbit, az embrióvédelemmel szorosan összefüggő hatást érdemes lenne kihasználni a sertéstenyésztés során, hiszen a szaporodás kulcsfontosságú tényező a nagyüzemi sertéstelepeken.

A szerzett tapasztalatok alapján az n-3 zsírsavak tenyészkocákkal történő etetése jelentős gazdasági előnyt jelenthet a sertéstelepek számára. A választás és az ivarzás közötti idő rövidülése az ún. „üres napok” számát, míg a rendszeren ivarzó állatok növekvő aránya az improduktív kocák számát csökkenti, amik, mint látens költségek minden sertéstelepen jelen vannak. A jobb vemhesülési és fialási arányok tovább csökkentik az improduktív kocák mennyiségét, valamint a kocaselejtezést és így a pótláshoz szükséges kocasüldők számát. A kocasüldők felnevelési költsége jelentős kiadás, így ennek mérséklése szintén javítja a telepek versenyképességét. A petefészkek működésére és az embriók vitalitására gyakorolt pozitív hatások, a kocák genetikai potenciáljának jobb kihasználása révén növelik az egy koca után értékesíthető malacok, illetve hízósertések számát, ami egyértelmű gazdasági előnyt jelenthet a sertéstelepeknek. Végül a malacok anyatejen keresztüli, n-3 zsírsavakkal történő ellátása a malacok életképességét és növekedési erélyét javíthatja, ami végeredményben ugyancsak az értékesíthető állatok darabszámát növeli, továbbá csökkenti az egy kilogramm sertéshús előállításához szükséges ráfordítás mértékét.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy kukorica-szójadara alapú takarmányozás mellett, a szoptatás alatt, 6,3 g/kg dózisban etetett halolaj szignifikánsan növelte a fiziológiailag fontos n-3 zsírsavak (EPA, DPA, DHA) mennyiségét Dán nagyfehér × Dán lapály genotípusú tenyészkocák tejében, miközben az n-6/n-3 zsírsavak aránya 13,42-ről 6,35-re csökkent.
2. Napraforgó- és halolajjal végzett etetési tesztekben, a 6,3 g/kg mennyiségben alkalmazott halolaj, ultragyors gázkromatográfiára alapozott elektronikus orr (e-orr) alkalmazásával megkülönböztethető változást idézett elő a kocatej illatprofiljában, amely változást a halolajban található telítetlen zsírsavak oxidációja során képződő vegyületekre (3-metil-butanol, tejsav, acetil pirazin, dimetil-szulfid, acetaldehid) vezetem vissza.
3. A kiegészítő takarmány- és késztakarmányminták elektronikus orral történő elemzése alapján megállapítottam, hogy a halolajat és napraforgóolajat tartalmazó kiegészítő takarmányok és az ezek 12,6 g/kg dózisban történő felhasználásával készült késztakarmányok illatprofiljuk alapján elkülöníthetőek.
4. Az n-3 zsírsavakban gazdag halolaj hosszú távú, alacsony dózisban (3,15 g/kg), kocatakarományokban történő alkalmazása szignifikánsan csökkentette a malacok szopóskori elhullását, javította a szaporodásbiológiai mutatókat, a következő fialás során született malacok számát, így előnyösebb, mint a rövidebb távú, de magasabb dózisban (12,6 g/kg) történő etetés.
5. A 6,3 g/kg dózisban etetett halolaj növelte a tenyészkocák vérének GSH szintjét és fokozta a GPx aktivitását, ami a kocák antioxidáns státuszának javulását jelenti.
6. Megállapítottam, az n-3 zsírsavakban gazdag, halolajjal történő kiegészítés 6,3 g/kg dózisban csökkentette a PGF2 α termelődését Dán nagyfehér × Dán lapály genotípusú tenyészkocák szervezetében.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az utóbbi évtizedek során számos kutató foglalkozott az n-3 zsírsavak tenyésztésekre gyakorolt hatásaival. Kiderült, hogy ezek a fontos zsírsavak, mint alapvető táplálóanyagok, gyakorlati szempontból jelentős hatással lehetnek az állatok teljesítményére. Sejtalkotóként összefüggésbe hozhatóak az ideg- és az immunsejtek fejlődésével és működésével, oxidációra való hajlamuk miatt az antioxidáns folyamatokkal és az egészség fenntartásával, a nemi hormonok termelésére gyakorolt hatásaik révén pedig befolyásuk lehet a szaporodásbiológiára.

A korábbi vizsgálatok eredményei rendkívül változatosak és sok esetben egymásnak ellentmondóak. Ezért egy olyan kísérletsorozat elvégzését tűztük ki célul, amelyben több dózisban és különböző időtartamban etetve vizsgáltuk az n-3 zsírsavak tenyészkecákra és malacokra gyakorolt hatásait.

Korábbi kutatásokhoz hasonlóan sikerült igazolnunk, hogy az n-3 zsírsavak kiválasztódnak a kocatejbe, megváltoztatva annak zsírsavprofilját. Elsőként végeztünk elektronikus orr vizsgálatokat annak igazolására, hogy a szoptató kocatakarmányok alacsony dózisú n-3 PUFA kiegészítése jelentős változásokat idéz elő mind a késztakarmányok, mind a kocatej illatprofiljában.

Az általunk alkalmazott legmagasabb dózis esetén (12,6 g/kg halolaj) a szoptató kocák takarmányfelvétel csökkenését tapasztaltunk, amelynek háttérében a halolaj illatmódosító hatása állhat. Ezzel szemben a 6,3 g/kg etetése élettani szempontból biztonságosnak tekinthető, mert az antioxidáns védekező rendszer működésére nem gyakorolt negatív hatást.

Több esetben igazoltuk az n-3 zsírsavak szaporodásbiológiai folyamatokra gyakorolt pozitív hatását, amit hormonvizsgálatokkal és petefészekvizsgálattal is sikerült alátámasztani.

Egy kísérlet során különböző n-3 zsírsavak hatásait hasonlítottuk össze, aminek eredményeként megállapítottuk, hogy a 20-25 g/kg mennyiségben etetett extrudált lenmag mellett etetett 3,15 g/kg dózisú halolaj jelentősen hozzájárul a tenyészkecák szaporodásbiológiai teljesítménynek növeléséhez egy hosszútávú nagyüzemi vizsgálat során. Ennek oka valószínűleg az, hogy az élettani folyamatokban főként az n-3 zsírsavak hosszabb szénláncú (20-22 szénatomos) típusai hasznosulnak, amelyek a halolajban találhatóak (EPA, DPA, DHA). A lenmagban, lenolajban lévő ALA a szervezetben ugyancsak hosszú szénláncú n-3 zsírsavakká alakul, de rossz hatásfokkal, így előnyösebb az említett 20-22 szénatomos zsírsavak közvetlen etetése.

Mivel az n-3 zsírsavak alapvető táplálóanyagok és képesek a szervezet különböző szöveteiben raktározódni, ezért az alacsonyabb dózisú, de folyamatos etetésük előnyösebb lehet, ahogy azt kísérletünk tapasztalatai is mutatták.

7. SUMMARY

During the last decades, many researchers investigated the effects of n-3 fatty acids on swine. These essential fatty acids, as basic nutrients, can have a significant effect on animal performance. They are elements of cell membranes and play a role in the development and function of nerve and immune cells. In addition, due to their susceptibility to oxidation, they are involved in antioxidant processes and the maintenance of health. Finally, through their effects on sex hormone production, they can profoundly influence reproductive biology.

The results of previous studies are extremely diverse and, in many cases, contradictory. Therefore, we carried out a series of experiments investigating the effects of n-3 fatty acids on breeding sows and their piglets by feeding them several doses and for different periods.

Similar to previous research, we proved that n-3 fatty acids are secreted into sow's milk, changing its fatty acid profile. However, we were the first to perform electronic nose tests to confirm that the supplementation of lactating sow feeds with n-3 PUFA, even in low doses, causes significant changes in the smell profile of the feed and milk of sows. When using the highest dose (12.6 g/kg fish oil), we experienced a reduced feed intake in lactating sows, which is the highest dose (12.6 g/kg fish oil), we experienced reduced feed intake in lactating sows, probably due to fish oil's odor-modifying effect. On the other hand, feeding 6.3 g/kg can be considered safe from a physiological point of view since the antioxidant defence system was not negatively affected by this supplementation dose.

We proved the positive effect of n-3 fatty acids on reproductive biological processes, which was also supported by hormone tests and macroscopical ovarian investigation.

We could also compare the effects of different n-3 fatty acids during one of the experiments. In this long-term experiment, we concluded that feeding 3.15 g/kg fish oil significantly contributed to increasing the reproductive biological performance of breeding sows when app. 20-25 g/kg extruded linseed were also in the different sow feeds. This is probably because, in various physiological processes, mainly longer chain n-3 fatty acids (20-22 carbon atoms) are used, found in fish oil (EPA, DPA, DHA). The ALA found in linseed, and linseed oil is usually also converted into longer-chain n-3 fatty acids in the body. Still, with very poor efficacy, the direct feeding of longer-chain n-3 fatty acids could be more advantageous.

Since n-3 fatty acids are essential nutrients, not growth promoters, and can be stored in body tissues, feeding them with sows is recommended in lower doses but continuously, as our last experiment also showed.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm fejezem ki **Prof. Dr. Mézes Miklós** egyetemi tanárnak, aki témavezetőként és a doktori iskola vezetőjeként biztosította a kutatómunkámhoz szükséges feltételeket és szakmai iránymutatásával segítette munkámat.

Köszönettel tartozom **Dr. Tóth Tamás** kutatóprofesszornak és az ADEXGO Kft. vezetőségének, hogy lehetővé tették számomra, hogy az n-3 zsírsavak témakörével foglalkozhassak és mind szakmailag, mind anyagilag támogatták doktori tanulmányaimat.

Köszönöm **Prof. Dr. Fébel Hedvig** professzor Asszonynak a kísérletek eredményeinek kiértékelésében, valamint a tudományos közlemények megírásában nyújtott segítségét.

Dr. Bázár György kollégámnak köszönöm, hogy segített az kísérletek során alkalmazott elektronikus orr vizsgálatok kivitelezésében és azok eredményeinek értékelésében.

A nagyüzemi kísérletben nyújtott segítségükért a FirstFarms Kft., a Végh Farm és a MATE bemutató gazdaság (Herceghalom) sertéstelepén dolgozó munkatársaknak tartozom köszönettel.

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

9. FELHASZNÁLT IRODALOM

- 1) Abayasekara, D.R.E., Wathes, D.C., 1999. Effects of altering dietary fatty acid composition on prostaglandin synthesis and fertility. *Prostaglandins, Leukot. Essent. Fatty. Acids.* 61, 275–287. <https://doi.org/10.1054/plf.1999.0101>.
- 2) Almond, G.W., Dial, G.D., 1990. Steroid hormone and luteinizing hormone concentrations in the anestrous sow. *Can. J. Vet. Res.* 54, 209–214.
- 3) Alpha MOS, Manual H., 2018 [cited 25 Oct 2020]. Available from: <https://www.alpha-mos.com/heracles-smell-analysis>. Toulouse, France: Alpha MOS; p. 1–163
- 4) Amari, A., El Bari, N., Bouchikhi, B., 2009. Conception and development of a portable electronic nose system for classification of raw milk using principal component analysis approach. *Sens Transducers*; 102:33–44 [cited 25 Oct 2020]. Available from: <http://www.sensorsportal.com>
- 5) Anderson, E.J., Thayne, K.A., Harris, M., Shaikh, S.R., Darden, T.M., Lark, D.S., Williams, J.M., Chitwood, W.R., Kypson, A.P., Rodriguez, E., 2014. Do fish oil omega-3 fatty acids enhance antioxidant capacity and mitochondrial fatty acid oxidation in human atrial myocardium via PPAR γ activation? *Antioxid. Redox. Signal.* 21, 1156–1163. <https://doi.org/10.1089/ars.2014.5888>.
- 6) Aouadi, B., Zaukuu, J.L.Z, Vitális, F., Bodor, Z., Fehér, O., Gillay, Z., Bazar, G., Kovacs, Z., 2020. Historical evolution and food control achievements of near infrared spectroscopy, electronic nose, and electronic tongue-Critical overview. *Sensors (Basel)*; 20:5479, doi: [10.3390/s20195479](https://doi.org/10.3390/s20195479)
- 7) Arakawa, K., Sagai, M., 1986. Species differences in lipid peroxide levels in lung tissue and investigation of their determining factors. *Lipids* 21: 769-775.
- 8) Association of Official Analytical Chemists., 2006. *Official methods of analysis*. 18th ed. Washington, DC: AOAC
- 9) Bai, Y.S., Wang, C.Q., Zhao, X., Shi, B.M., Shan, A.S., 2017. Effects of fat sources in sow on the fatty acid profiles and fat globule size of milk and immunoglobulins of sows and piglets. *Anim Feed Sci Technol*; 234:217–227, doi: [10.1016/j.anifeedsci.2017.10.006](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.10.006)
- 10) Bartsch, H., Nair, J., Owen, R.W., 2002. Exocyclic DNA adducts as oxidative stress markers in colon carcinogenesis: potential role of lipid peroxidation, dietary fat and antioxidants. *Biol. Chem.* 383:915–921.
- 11) Battaglia, F.C., Meschia, G., 1988. Fetal nutrition. *Annu Rev Nutr*; 8:43–61
- 12) Berchieri-Ronchi, C.B., Kim, S.W., Zhao, Y., Correa, C. R., Yeum, K.-J., Ferreira, A.L.A., 2011. Oxidative stress status of highly prolific sows during gestation and lactation. *Animal*. 5, 1774–1779. <https://doi.org/10.1017/s1751731111000772>.
- 13) Bilby, T.R., Guzeloglu, A., MacLaren, L.A., Staples, C.R., Thatcher, W.W., 2006. Pregnancy, bovine somatotropin, and dietary n-3 fatty acids in lactating dairy cows: II. Gene expression related to maintenance of pregnancy. *J. Dairy Sci.* 89, 3375–3385, doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72374-8.
- 14) Bird, R.P., Draper, H.H., 1984. Comparative studies on different methods of malonaldehyde determination. *Methods Enzymol*; 105:299–305, doi: [10.1016/s0076-6879\(84\)05038-2](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(84)05038-2)
- 15) Blanchet, C., Lucas, M., Julien, P., Morin, R., Gingras, S., Dewailly, É., 2005. Fatty acid composition of wild and farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*) and Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Lipids*, 40, 529–531, doi:10.1007/s11745-005-1414-0.
- 16) Burdge, G.C., Calder, P.C., 2005. Conversion of alpha-linolenic acid to longer-chain polyunsaturated fatty acids in human adults. *Reprod. Nutr. Develop.* 45, 581–597, doi:10.1051/rnd:2005047.
- 17) Calder, P.C., 2001. N-3 polyunsaturated fatty acids, inflammation and immunity: Pouring oil on troubled waters or another fishy tale. *Nutr. Res.* 21, 309–341, doi:10.1016/S0271-5317(00)00287-6.

- 18) Calder, P.C., 2006. N-3 polyunsaturated fatty acids, inflammation, and inflammatory diseases. *Am. J. Clin. Nutr.* 83, 1505–1519. <https://doi.org/10.1093/ajcn/83.6.1505S>.
- 19) Charnock, J.S., Abeywardena, M.Y., McLennan, P.L., 1986. Comparative changes on the fatty acid composition of rat cardiac phospholipids after long-term feeding of sunflower seed oil- or tuna fish oil-supplemented diets. *Ann. Nutr. Metab.* 30: 393-406.
- 20) Chartrand, R., Matte, J.J., Lessard, M., Chouinard, P.Y., Giguere, A., Laforest, J.P., 2003. Effect of dietary fat sources on systematic and intrauterine synthesis on prostaglandins during early pregnancy of gilts. *J. Anim. Sci.* 81, 726–784. <https://doi.org/10.2527/2003.813726x>.
- 21) Childs, S., Lynch, C.O., Hennessy, A.A., Stanton, C., Wathes, D.C., Sreenan, J.M., Kenny, D.A., 2008. Effect of dietary enrichment with either n-3 or n-6 fatty acids on systemic metabolite and hormone concentration and ovarian function in heifers. *Animal.* 2, 883-893. <https://doi.org/10.1017/s1751731108002115>.
- 22) Clément, G., Christon, R., Créminon, C., Frobert, Y., Pradelles, P., Wal, J.M., 1994. Essential fatty acid deficiency in the pig: Effects on eicosanoid basal levels and in vitro synthesis by the small intestine. *Prostaglandins, Leukot. Essent. Fatty. Acids.* 50, 147–154. [https://doi.org/10.1016/0952-3278\(94\)90098-1](https://doi.org/10.1016/0952-3278(94)90098-1).
- 23) Cordero, G., Isabel, B., Morales, J., Menoyo, D., Piñeiro, C., Daza, A., Lopez-Bote, C.J., 2011. Conjugated linoleic acid (CLA) during last week of gestation and lactation alters colostrum and milk fat composition and performance of reproductive sows. *Anim Feed Sci Technol*; 168:232–240, doi: [10.1016/j.anifeedsci.2011.04.085](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.085)
- 24) Coyne, G.S., Kenny, D.A., Childs, S., Sreenan, J.M., Waters, S.M., 2008. Dietary n-3 polyunsaturated fatty acids alter the expression of genes involved in prostaglandin biosynthesis in the bovine uterus. *Theriogenology.* 70, 772–782, doi:[10.1016/j.theriogenology.2008.05.048](https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.05.048).
- 25) De Quelen, F., Boudry, G., Mourot, J., 2010. Linseed oil in the maternal diet increases the long-chain-PUFA status of the foetus and the newborn during the suckling period in pigs. *Br. J. Nutr.* 104, 533–543, doi:[10.1017/S0007114510000772](https://doi.org/10.1017/S0007114510000772)
- 26) De Rensis, F., Saleri, R., Tummaruk, P., Techakumphu, M., Kirkwood, R.N., 2012. Prostaglandin F2 α and control of reproduction in female swine: A review. *Theriogenology*, 77(1), 1–11. doi:[10.1016/j.theriogenology.2011](https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011)
- 27) De Tonnac, A., Karim-Luisset, S., Mourot, J., 2017. Effect of different dietary linseed sources on fatty acid composition in pig tissues. *Livest Sci.* 203:124–131, doi: [10.1016/j.livsci.2017.03.022](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.03.022)
- 28) Di Pasquale, M.G., 2009. The essentials of essential fatty acids. *J. Diet. Suppl.* 6, 143–161, doi:[10.1080/19390210902861841](https://doi.org/10.1080/19390210902861841).
- 29) Dirandeh, E., Towhidi, A., Ansari, P.Z., Adib, H.F., Ganjkanlou, M., Zeinoaldini, S., Rezaei, R.A., Saberifar, T., Petit, H.V., 2013. Plasma concentrations of PGFM and uterine and ovarian responses in early lactation dairy cows fed omega-3 and omega-6 fatty acids. *Theriogenology.* 80, 131-137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.03.012>.
- 30) Eastwood, L., Leterme, P., Beaulieu, A.D., 2014. Changing the omega-6 to omega-3 fatty acid ratio in sow diets alters serum, colostrum, and milk fatty acid profiles, but has minimal impact on reproductive performance. *J Anim Sci.* 92:5567–5582, doi: [10.2527/jas.2014-7836](https://doi.org/10.2527/jas.2014-7836).
- 31) Eastwood, L., Leterme, P., & Beaulieu, A.D., 2016. Body fat mobilization during lactation in high-producing sows fed varied omega-6 to omega-3 fatty acid ratios. *Canadian Journal of Animal Science.* 96(1), 69–78. <https://doi.org/10.1139/cjas-2015-0082>
- 32) Edwards, S., Foxcroft, G.R., 1983. Endocrine changes in sows weaned at two stages of lactation. *J. Reprod. Fertil.* 67, 161–172. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0670161>.
- 33) Elinder, F., Liin, S.I., 2017. Actions and mechanisms of polyunsaturated fatty acids on voltage-gated ion channels. *Front. Physiol.* 8, 43, doi:[10.3389/fphys.2017.00043](https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00043).
- 34) Enke, U., Seyfarth, L., Schleussner, E., Markert, U.R., 2008. Impact of PUFA on early immune and fetal development. *Br. J. Nutr.* 100, 1158–1168, doi.org/[10.1017/S000711450801413X](https://doi.org/10.1017/S000711450801413X).
- 35) Esterbauer, H., 1985. Lipid peroxidation products: Formation, chemical properties and biological activities. In: Fehér J. és Csomós, G. eds.: *Free Radicals in Liver Injury*. Springer, Berlin, pp. 29-47.

- 36) Esterbauer, H., Schaur, R.J., Zollner, H., 1991. Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malonaldehyde and related aldehydes. *Free Radic Biol Med.* 11:81–128, doi: [10.1016/0891-5849\(91\)90192-6](https://doi.org/10.1016/0891-5849(91)90192-6)
- 37) Estienne, M.J., Harper, A.F. Estienne, C.E., 2006. Effects of dietary supplementation with omega-3 polyunsaturated fatty acids on some reproductive characteristics in gilts. *Reprod. Biol.* 6, 231–241.
- 38) Falchero, L., Sala, G., Gorlier, A., Lombardi, G., Lonati, M., Masoero, G., 2009. Electronic Nose analysis of milk from cows grazing on two different Alpine vegetation types. *J Dairy Res.* 76:365–371, doi: [10.1017/S0022029909004105](https://doi.org/10.1017/S0022029909004105).
- 39) Farmer, C., Giguère, A., Lessard, M., 2010. Dietary supplementation with different forms of flax in late gestation and lactation: Effects on sow and litter performances, endocrinology, and immune response. *J. Anim. Sci.* 88, 225–237, doi:10.2527/jas.2009-2023.
- 40) Frankic, T., Salobir, J., 2011. In vivo antioxidant potential of Sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) wood extract in young growing pigs exposed to n-3 PUFA-induced oxidative stress. *J. Sci. Food Agric.* 91, 1432–1439. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4328>.
- 41) Fritsche, K.L., Huang, S.C., Cassity, N.A., 1993. Enrichment of omega-3 fatty acids in suckling pigs by maternal dietary fish oil supplementation. *J Anim Sci.* 71:1841–1847, doi: [10.2527/1993.7171841x](https://doi.org/10.2527/1993.7171841x)
- 42) Gabler, N.K., Radcliffe, J.S., Spencer, J.D., Webel, D.M., Spurlock, M.E., 2009. Feeding long-chain n-3 PUFA during gestation increases intestinal glucose absorption potentially via the acute activation of AMPK. *J. Nutr. Biochem.* 20, 17–25, doi:10.1016/j.jnutbio.2007.11.009.
- 43) Gardner, J.W., Bartlett, P.N., 1994. A brief history of electronic noses. *Sens Actuators B.* 18:210–211, doi: [10.1016/0925-4005\(94\)87085-3](https://doi.org/10.1016/0925-4005(94)87085-3)
- 44) Giltay, E.J., Gooren, L.J., Toorians, A.W., Katan, M.B., Zock, P.L., 2004. Docosahexaenoic acid concentrations are higher in women than in men because of estrogenic effects. *Am. J. Clin. Nutr.* 80, 1167–1174, doi:10.1093/ajcn/80.5.1167.
- 45) Geisert, R.D., Sutovsky, P., Lucy, M., Bartol, F.F., Meyer, A.E., 2019 Reproductive physiology of swine. In: Bazer FW, Lamb GC, Wu G (eds) *Animal agriculture 1st edition: challenges, innovations, and sustainability.* Academic Press, Cambridge, pp 263–282. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817052-6.00015-x>.
- 46) Gloire, G., Legrand-Poels, S., Piette, J., 2006. NF-kappaB activation by reactive oxygen species: fifteen years later. *Biochem. Pharmacol.* 72:1493–1505.
- 47) Goyens, P.L., Spilker, M.E., Zock, P.L., Katan, M.B., Mensink, R.P., 2006. Conversion of alpha-linolenic acid in humans is influenced by the absolute amounts of alpha-linolenic acid and linoleic acid in the diet and not by their ratio. *Am. J. Clin. Nutr.* 84, 44–53, doi:10.1093/ajcn/84.1.44.
- 48) Greenberg, J.A., Bell, S.J., Van Ausdal, W.V., 2008. Omega-3 fatty acid supplementation during pregnancy. *Rev Obstet Gynecol.* 1:162–169
- 49) Grez, M., Gandarillas, M., González, F., Vargas-Bello-Pérez, M., 2016. Influence of a spray-dried fat enriched with EPA and DHA on the fatty acid composition of sow milk. *Cienc Investig Agr.* 43:347–355, doi: [10.4067/S0718-16202016000300001](https://doi.org/10.4067/S0718-16202016000300001).
- 50) Grootendorst-van Mil, N.H., Tiemeier, H., Steenweg-De Graaff, J., Koletzko, B., Demmelmair, H., 2018. Maternal plasma n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids during pregnancy and features of fetal health: Fetal growth velocity, birth weight and duration of pregnancy. *Clin. Nutr.* 37, 1367–1374, doi:10.1016/j.clnu.2017.06.010.
- 51) Gulliver, C.E., Friend, M.A., King, B.J., Clayton, E.H., 2012. The role of omega-3 polyunsaturated fatty acids in the reproduction of sheep and cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 131, 9–22, doi:10.1016/j.anireprosci.2012.02.002.
- 52) Gunnarsson, S., Pickova, J., Högberg, A., Neil, M., Wichman, A., Wigren, I., Uvnäs-Moberg, K., Rydhmer, L., 2009. Influence of sow dietary fatty acid composition on the behaviour of the piglets. *Livest Sci.* 123:306–313, doi: [10.1016/j.livsci.2008.12.002](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.12.002)

- 53) Gutiérrez-Méndez, N., Vallejo-Cordoba, B., Gonzalez-Córdova, A.F., Nevárez-Moorillón, G.V., Rivera-Chavira, B., 2008. Evaluation of aroma generation of *Lactococcus lactis* with an electronic nose and sensory analysis. *J Dairy Sci.* 91:49–57, doi: [10.3168/jds.2007-0193](https://doi.org/10.3168/jds.2007-0193).
- 54) Habeanu, M., Hebean, V., Nagy, A., Taranu, I., Lefter, N.A., Marin, D., Grosu, H., 2011. The dietary omega-3 PUFA alter the metabolic and immunologic serum profile in Mangalitza pigs in rearing extensive system. *Arch. Zootech.* 14, 5–12.
- 55) Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C., 1984. Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease. *Biochem. J.* 219: 1-14.
- 56) Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C. eds., 2008. *Free Radicals in Biology and Medicine*. 4th. ed. Oxford University Press, Oxford.
- 57) Hammer, C.T., Wills, E.D., 1978. The role of lipid components of the diet in the regulation of the fatty acid composition of the rat liver endoplasmic reticulum and lipid peroxidation. *Biochem J.* 174:585–593.
- 58) Hawkins, D.E., Niswender, K.D., Oss, G.M., Moeller, C.L., Odde, K.G., Sawyer, H.R., Niswender, G.D., 1995. An increase in serum lipids increases luteal lipid content and alters disappearance rate of progesterone in cows. *J. Anim. Sci.* 73, 541-545. <https://doi.org/10.2527/1995.732541x>.
- 59) Hussein, M., Harvatiné, I. K.H., Weerasinghe, W.M.P.B., Sinclair, L.A., Bauman, D. E. 2013. Conjugated linoleic acid-induced milk fat depression in lactating ewes is accompanied by reduced expression of mammary genes involved in lipid synthesis. *J. Dairy Sci.* 96: 3825-3534. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6576>
- 60) Innis, S.M., 2007. Human milk: Maternal dietary lipids and infant development. *Proc. Nutr. Soc.* 66, 397–404, doi:10.1017/S0029665107005666. <https://doi.org/10.1017/S0029665107005666>.
- 61) Jin, C., Fang, Z., Lin, Y., Che, L., Wu, C., Xu, S., Feng, B., Li, J., Wu, D., 2017. Influence of dietary fat source on sow and litter performance, colostrum and milk fatty acid profile in late gestation and lactation. *Anim Sci J.* 88:1768–1778, doi: [10.1111/asj.12836](https://doi.org/10.1111/asj.12836)
- 62) Jump, D.B., 2008. N-3 polyunsaturated fatty acid regulation of hepatic gene transcription. *Curr. Opin. Lipidol.* 19, 242–247, <https://doi.org/10.1097/MOL.0b013e32822ffaf6a>.
- 63) Kang, N.K., Jun, T.S., Yang, Y.S., Kim, Y.S., 2014. Analysis of volatile flavor compounds in milk using electronic nose system. *J Sens Sci Technol;* 23:320–325, doi: [10.5369/JSST.2014.23.5.320](https://doi.org/10.5369/JSST.2014.23.5.320).
- 64) Kelly, V.E., Ferretti, A., Izui, S., Strom, T.B., 1985. Fish oil diet rich in eicosapentaenoic acid reduces cyclooxygenase metabolites and suppresses lupus in MRL-Lpr mice. *J. Immunol.* 134, 1914–1919.
- 65) Kibria, S., Choi, Y.J., Kim, I.H., 2021. Effect of omega-3 fatty acid supplementation in salmon oil on the production performance of lactating sows and their offspring. *Korean J. Agric. Sci.* 48, 191-199. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20210002>.
- 66) Kim, S.W., Mateo, R.D., Yin, Y.L., Wu, G., 2007. Functional amino acids and fatty acids for enhancing production performance of sows and piglets. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 2, 295–306, doi:10.5713/ajas.2007.295.
- 67) Knox, R., 2015. Recent advancements in the hormonal stimulation of ovulation in swine. *Vet. Med.: Research and Reports.* 309. doi:10.2147/vmrr.s68960.
- 68) Koletzko, B., Larqué, E., Demmelmair, H., 2007. Placental transfer of long-chain polyunsaturated fatty acids (LC-PUFA). *J Perinat Med.* 35 Supplement 1:S5–11, doi: [10/1515/JPM2007.030](https://doi.org/10.1515/JPM2007.030)
- 69) Komprda, T., Jůzl, M., Matejovicová, M., Levá, L., Piechowiczová, M., Nedomová, Š., Popelková, V., Vymazalová, P., 2020. Effect of high dietary level (8%) of fish oil on long-chain polyunsaturated fatty acid n-3 content in pig tissues and plasma biochemical parameters. *Animals.* 10:1657, doi: [10.3390/ani10091657](https://doi.org/10.3390/ani10091657)
- 70) Kovacs, Z., Bodor, Z., Zinia Zaukuu, J.L., Kaszab, T., Bazar, G., Tóth, T., Mohácsi-Farkas, C., 2020. Electronic nose for monitoring odor changes of *Lactobacillus* species during milk fermentation and rapid selection of probiotic candidates. *Foods.* 9:1539, doi: [10.3390/foods9111539](https://doi.org/10.3390/foods9111539).

- 71) Kurlak, L.O., Stephenson, T.J., 1999. Plausible explanations for effects of long chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFA) on neonates. *Arch. Dis. Child. Fetal. Neonatal*. Ed. 80, 148–154. <https://doi.org/10.1136/fn.80.2.f148>.
- 72) Lauridsen, C., Danielsen, V., 2004. Lactational dietary fat levels and sources influence milk composition and performance of sows and their progeny. *Livest Prod Sci*. 91:95–105, doi: [10.1016/j.livprodsci.2004.07.014](https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.07.014)
- 73) Lauridsen, C., Jensen, S.K., 2007. Lipid composition of lactational diets influences the fatty acid profile of the progeny before and after suckling. *Animal*. 1:952–962, doi: [10.1017/S175173110700033X](https://doi.org/10.1017/S175173110700033X)
- 74) 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*. 9:1092, doi: [10.3390/ani9121092](https://doi.org/10.3390/ani9121092)
- 75) Laws, J., Amusquivar, E., Laws, A., Herrera, E., Lean, I.J., Dodds, P.F., Clarke, L., 2009. Supplementation of sow diets with oil during gestation: Sow body condition, milk yield and milk composition. *Livest Sci*. 123:88–96, doi: [10.1016/j.livsci.2008.10.012](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.10.012).
- 76) Lee, Y., Lee, H., Park, B., Elahi, F., Lee, J., Lee, S.T., Lee, E., 2016. Alpha-linolenic acid treatment during oocyte maturation enhances embryonic development by influencing mitogen-activated protein kinase activity and intraoocyte glutathione content in pigs. *J. Anim. Sci*. 94, 3255–3263. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0384>.
- 77) Lee, S.I., Kang, K.S., 2019. Omega-3 fatty acids modulate cyclophosphamide induced markers of immunosuppression and oxidative stress in pigs. *Sci. Rep*. 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39458-x>.
- 78) Lee, A.V., You, L., Oh, S.Y., Li, Z., Code, A., Zhu, C., Fisher-Heffernan, R.E., Regnault, T.R.H., De Lange, C.F.M., Huber, L.A., Karow, N.A., 2019a. Health benefits of supplementing nursery pig diets with microalgae or fish oil. *Animals*. 9, 80, doi:10.3390/ani9030080.
- 79) Lee, S.A., Whenham, N., Bedford, M.R., 2019b. Review on docosahexaenoic acid in poultry and swine nutrition: Consequence of enriched animal products on performance and health characteristics. *Anim. Nutr*. 5, 11–21, doi:10.1016/j.aninu.2018.09.001.
- 80) Leonard, S.G., Sweeney, T., Bahar, B., Lynch, B.P., O’Doherty, J.V., 2011. Effect of dietary seaweed extracts and fish oil supplementation in sows on performance, intestinal microflora, intestinal morphology, volatile fatty acid concentrations and immune status of weaned pigs. *Br. J. Nutr*. 105, 549–560, doi:10.1017/S0007114510003739.
- 81) 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. *Reprod. Dom. Anim*. 43, 623–632, <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00961.x>.
- 82) Let, M.B., Jacobsen, C., Meyer, A.S., 2005. Sensory stability and oxidation of fish oil enriched milk is affected by milk storage temperature and oil quality. *Int Dairy J*. 15:173–182, doi: [10.1016/j.idairyj.2004.06.003](https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.06.003)
- 83) Li, G.L., Chen, H.J., Zhang, W.X., Tong, Q., Yan, Y.E., 2017. Effects of maternal omega-3 fatty acids supplementation during pregnancy/lactation on body composition of the offspring: A systematic review and meta-analysis. *Clin. Nutr*. 37, 1462–1473, doi:10.1016/j.clnu.2017.08.002.
- 84) Linneen, S.K., Mikesell, R., Kime, L.F., Harper, J.K., 2016. *Swine Production: Agricultural Alternatives*; Penn State Extension; The Pennsylvania State University: University Park, PA, USA, Code UA261 09/16 pod.
- 85) Liu, Y., 2015. Fatty acids, inflammation, and intestinal health in pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol*. 6, 41, doi:10.1186/s40104-015-0040-1.
- 86) Liu, W., Yu, J., Sun, Z., Song, Y., Wang, X., Wang, H., Wuren, T., Zha, M., Menghe, B., 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. *J Dairy Sci*. 99:89–103, doi: [10.3168/jds.2015-10209](https://doi.org/10.3168/jds.2015-10209)

- 87) 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 Res Int.* 2013:905918, doi: [10.1155/2013/905918](https://doi.org/10.1155/2013/905918)
- 88) 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. *Int J Anim Sci.* 19:8–17, doi: [10.1080/1828051X.2019.1685917](https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1685917).
- 89) MacLaren, L.A., Guzeloglu, A., Michel, F., Thatcher, W.W., 2006. Peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR) expression in cultured bovine endometrial cells and response to omega-3 fatty acid, growth hormone and agonist stimulation in relation to series 2 prostaglandin production. *Domest. Anim. Endocrinol.* 30, 155–169. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2005.07.0>.
- 90) Mahla, A.S., Chaudhari, R.K., Verma, A.K., Singh, A.K., Singh, S.K., Singh, G., Krishnaswamy, N., 2017. Effect of dietary supplementation of omega-3 polyunsaturated fatty acid (PUFA) rich fish oil on reproductive performance of the goat (*Capra hircus*). *Theriogenology*, 99, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017>.
- 91) Mateo, R.D., Carroll, J.A., Hyun, Y., Smith, S., Kim, S.W., 2009. Effect of dietary supplementation of n-3 fatty acids and elevated concentrations of dietary protein on the performance of sows. *J Anim Sci.* 87:948–959, doi: [10.2527/jas.2008-0964](https://doi.org/10.2527/jas.2008-0964).
- 92) Matkovics, B., Szabó, L., Sz Varga, I., 1988. Determination of enzyme activities in lipid peroxidation and glutathione pathways (In Hungarian). *Laboratoriumi Diagnosztika* 15, 248-250.
- 93) Mattos, R., Staples, C.R., Thatcher, W.W., 2000. Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. *Rev. Reprod.* 5, 38-45. <https://doi.org/10.1530/ror.0.0050038>.
- 94) McDermott, K., Icely, S., Jagger, S., Broom, L.J., Charman, D., Evans, C.M., Miller, H.M., 2020. Supplementation with omega-3 polyunsaturated fatty acids and effects on reproductive performance of sows. *Anim Feed Sci Technol.* 267:114529, doi: [10.1016/j.anifeedsci.2020.114529](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114529).
- 95) Miralles-Pérez, B., Méndez, L., Nogués, M.R., Sánchez-Martos, V., Fortuño-Mar, A., Ramos-Romero, S., Hereu, M., Medina, I., Romeu, M., 2021. Effects of a fish oil rich in docosahexaenoic acid on cardiometabolic risk factors and oxidative stress in healthy rats. *Mar. Drugs.* 19, 555. <https://doi.org/10.3390/md19100555>.
- 96) Mitchell, M., Smits, R., Palmer, N.O., Filby A.N., Lane, M., 2010. Dietary omega-3 fatty acid supplementation alters embryo development and metabolism in sows. *Reprod. Fertil. Develop.* 22, 137-137. <https://doi.org/10.1071/SRB10Abs337>.
- 97) Moran, L.K., Gutteridge, J.M., Quinlan, G.J., 2001. Thiols in cellular redox signalling and control. *Curr Med Chem.* 8:763-772.
- 98) Moran, C.A., Morlacchini, M., Keegan, J.D., Fusconi, G., 2018. Dietary supplementation of finishing pigs with the docosahexaenoic acid-rich microalgae, *Aurantiochytrium limacinum*: Effects on performance, carcass characteristics and tissue fatty acid profile. *Asian-Australas J Anim Sci.* 31:712–720, doi: [10.5713/ajas.17.0662](https://doi.org/10.5713/ajas.17.0662)
- 99) Naes, T., Isakson, T., Fearn, T., Davies, T., 2002. A user-friendly guide to multivariate calibration and classification. Chichester, UK: NIR Publications
- 100) Noblet, J., Etienne, M., 1989. Estimation of sow milk nutrient output. *J Anim Sci.* 67:3352–3359
- 101) NRC, 2012. Nutrient Requirements of Swine, 11th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- 102) Nuernberg, K., Fischer, K., Nuernberg, G., Kuechenmeister, U., Klosowska, D., Eliminowska-Wenda, G., Fiedler, I., Ender, K., 2005. Effects of dietary olive and linseed oil on lipid composition, meat quality, sensory characteristics and muscle structure in pigs. *Meat Sci.* 70:63–74, doi: [10.1016/j.meatsci.2004.12.001](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.12.001)
- 103) Ogłuszka, M., Te Pas, M.F.W.T., Poławska, E., Nawrocka, A., Stepanow, K., Pierzchała, M., 2020. Omega-3 alpha-linolenic Fatty Acid affects the level of Telomere Binding Protein TRF1 in porcine skeletal muscle. *Animals.* 10:1090, doi: [10.3390/ani10061090](https://doi.org/10.3390/ani10061090)

- 104) Palmquist, D.L., 2009. Omega-3 fatty acids in metabolism, health, and nutrition and for modified animal product foods. *Prof Anim Sci.* 25:207–249, doi: [10.15232/S1080-7446\(15\)30713-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30713-0)
- 105) Palmquist, D.L., Mattos, W., 1978. Turnover of lipoproteins and transfer to milk fat of dietary (1-carbon-14) linoleic acid in lactating cows. *J Dairy Sci.* 61:561–565
- 106) Papadopoulos, G.A., Maes, D.G.D., Van Weyenberg, S., van Kempen, T.A.T.G., Buyse, J., Janssens, G.P.J., 2009. Periparturient feeding strategy with different n-6:n-3 ratios in sows: Effects on sows' performance, inflammatory and periparturient metabolic parameters. *Br J Nutr.* 101:348–357, doi: [10.1017/S0007114508026160](https://doi.org/10.1017/S0007114508026160)
- 107) Peng, X., Yan, C., Hu, L., Liu, Y., Xu, Q., Wang, R., Qin, L., Wu, C., Fang, Z., Lin, Y., Xu, S., Feng, B., Zhuo, Y., Li, J., Wu, D., Che, L., 2019. Effects of fat supplementation during gestation on reproductive performance, milk composition of sows and intestinal development of their offspring. *Animals.* 9:125, doi: [10.3390/ani9040125](https://doi.org/10.3390/ani9040125)
- 108) Persaud, K., Dodd, G., 1982. Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature.* 299:352–355, doi: [10.1038/299352a0](https://doi.org/10.1038/299352a0)
- 109) Petri, S., Körner, S., Kiaei, M., 2012. Nrf2/ARE signaling pathway: key mediator in oxidative stress and potential therapeutic target in ALS. *Neurol. Res. Internat.* Article ID 878030. doi: [10.1155/2012/878030](https://doi.org/10.1155/2012/878030)
- 110) Petrone, R.C., Williams, K.A., Estienne, M.J., 2019. Effects of dietary menhaden oil on growth and reproduction in gilts farrowed by sows that consumed diets containing menhaden oil during gestation and lactation. *Animal.* 13:1944–1951, doi: [10.1017/S1751731119000193](https://doi.org/10.1017/S1751731119000193)
- 111) Placer, Z.A., Cushman, L.L., Johnson, B.C., 1966. Estimation of product of lipid peroxidation (malonyldialdehyde) in biochemical systems. *Anal. Biochem.* 16, 359-364. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(66\)90167-9](https://doi.org/10.1016/0003-2697(66)90167-9).
- 112) Poli, G., Leonarduzzi, G., Biasi, F., Chiarotto, E., 2004. Oxidative stress and cell signalling. *Curr. Med Chem.* 11:1163-1182.
- 113) Posser, C.J.M., Almeida, L.M., Moreira, F., Bianchi, I., Gasperin, B.G., Lucia, T., 2018. Supplementation of diets with omega-3 fatty acids from microalgae: Effects on sow reproductive performance and metabolic parameters. *Liv. Sci.* 207, 59–62. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.11.006>.
- 114) Prunier, A., Heinonen, M., Quesnel, H., 2010. High physiological demands in intensively raised pigs: Impact on health and welfare. *Animal.* 4, 886–898, doi: [10.1017/S175173111000008X](https://doi.org/10.1017/S175173111000008X)
- 115) Pryor, W.A. ed., 1976. *Free radicals in biology.* Vol. 1., Academic Press, New York.
- 116) PubChem [Database]., 2020. [cited 25 Oct 2020]. Available from: <https://pubchemdocs.ncbi.nlm.nih.gov/>. Natl Cent Biotechnol Inf, US. Bethesda, MD: National Library of Medicine.
- 117) Ren, C., Jin, J., Wang, X., Zhang, Y., Jin, Q., 2022. Evaluation of fatty acid profile of colostrum and milk fat of different sow breeds. *Int. Dairy J.* 126. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105250>
- 118) Richard, D., Kefi, K., Barbe, U., Bausero, P., Visioli, F., 2008. Polyunsaturated fatty acids as antioxidants. *Pharmacol. Res.* 57, 451–455. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2008.05.002>.
- 119) Roberts, R.M., 2007. Interferon-tau, a type 1 interferon involved in maternal recognition of pregnancy. *Cytok. Grow. Factor Rev.* 18, 403–408, doi: [10.1016/j.cytogfr.2007.06.010](https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2007.06.010)
- 120) Robinson, R.S., Cheng, Z., Wathes, D.C., Abayasekara, D.R.E., 1998. Effect of dietary polyunsaturated fatty acids (PUFAs) on bovine luteal cell steroidogenesis in vitro. *J. Endocrinol.* 159, 67.
- 121) Robinson, R.S., Pushpakumara, P.G.A., Cheng, Z., Peters, A.R., Abayasekara, D.R.E., Wathes, D.C., 2002. Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on ovarian and uterine function in lactating dairy cows. *Reprod.* 124, 119-131. <https://doi.org/10.1530/rep.0.1240119>.
- 122) Rodríguez, M.G., Rebollar, P., Mattioli, S., Castellini, C., 2019. n-3 PUFA Sources (Precursor/Products): A Review of Current Knowledge on Rabbit. *Animals.* 9, 806, doi: [10.3390/ani9100806](https://doi.org/10.3390/ani9100806).

- 123) Rooke, J.A., Sinclair, A.G., Edwards, S.A., Cordoba, R., Pkivach, S., Penny, P.C., Penny, P., Finch, A.M., Horgan, G.W., 2001a. The effect of feeding salmon oil to sows throughout pregnancy on pre-weaning mortality of piglets. *Anim. Sci.* 73, 489–500, doi:10.1017/S135772980005846X.
- 124) Rooke, J.A., Sinclair, A.G., Ewen, M., 2001b. Changes in piglet tissue composition at birth in response to increasing maternal intake of long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids are non-linear. *Br J Nutr.* 86:461–470, doi: [10.1079/BJN2001422](https://doi.org/10.1079/BJN2001422)
- 125) Rooke, J.A., Sinclair, A.G., Edwards, S.A., 2001c. Feeding tuna oil to the sow at different times during pregnancy has different effects on piglet long-chain polyunsaturated fatty acid composition at birth and subsequent growth. *Brit. J. Nutr.* 86, 21–30, doi:10.1079/BJN2001363.
- 126) Rosero, D., 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. *Anim. Reprod. Sci.* 168, 151–163, doi:10.1016/j.anireprosci.2016.03.010.
- 127) Rosero, D.S., Odle, J., Mendoza, S.M., Boyd, R.D., Fellner, V., van Heugten, E., 2015. Impact of dietary lipids on sow milk composition and balance of essential fatty acids during lactation in prolific sows. *J Anim Sci.* 93:2935–2947, doi: [10.2527/jas.2014-8529](https://doi.org/10.2527/jas.2014-8529).
- 128) Rosero, D.S., Boyd, R.D., Odle, J., van Heugten, E., 2016. Optimizing dietary lipid use to improve essential fatty acid status and reproductive performance of the modern lactating sow: a review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 7, 34. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0092-x>.
- 129) Rossi, R., Pastorelli, G., Cannata, S., Corino, C., 2010. Recent advances in the use of fatty acids as supplements in pig diets: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 162, 1–11, doi:10.1016/j.anifeedsci.2010.08.013.
- 130) 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.* 10:1141, doi: [10.3390/ani10071141](https://doi.org/10.3390/ani10071141)
- 131) 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. *J. App. Anim. Res.* 49, 447-459, <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.2005071>.
- 132) Rymer, C.D., Givens, I., Wahle, K.W.J., 2003. Dietary strategies for increasing docosahexaenoic acid (DHA) and eicosapentaenoic acid (EPA) concentrations in bovine milk: A review. *Nutr [Abstr]. Rev. B;* 73:9–25
- 133) Sampels, S., Pickova, J., Högberg, A., Neil, M., 2011. Fatty acid transfer from sow to piglet differs for different polyunsaturated fatty acids (PUFA). *Physiol Res.* 60:113–124
- 134) Schmitz, G., Ecker, J., 2008. The opposing effects of n-3 and n-6 fatty acids. *Progr. Lipid. Res.* 47, 147–155, doi:10.1016/j.plipres.2007.12.004.
- 135) Sedlak, J., Lindsay, R.H., 1968. Estimation of total, protein-bound, and nonprotein sulfhydryl groups in tissue with Ellman's reagent. *Anal. Biochem.* 25, 192–205. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(68\)90092-4](https://doi.org/10.1016/0003-2697(68)90092-4).
- 136) Shahidi, F., Ambigaipalan, P., 2018. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. *Ann. Rev. Food Sci. Technol.* 9, 345–381, doi:10.1146/annurev-food-111317-095850.
- 137) Siu, G.M., Draper, H.H., 1982. Metabolism of malonaldehyde in vivo and in vitro. *Lipids.* 17:349–355, doi: [10.1007/BF02535193](https://doi.org/10.1007/BF02535193).
- 138) Sley, E.G., Rosen, E.M., van 't Erve, T.J., Sathyanarayana, S., Barrett, E.S., Nguyen, R.H.N., Bush, N.R., Milne, G.L., Swan, S. H., Ferguson, K.K., 2020. Omega-3 fatty acid supplement use and oxidative stress levels in pregnancy. *PLoS ONE*, 15, e0240244. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240244>.
- 139) Smit, M.N., Patterson, J.L., Webel, S.K., Spencer, J.D., Cameron, A.C., Dyck, M.K., Foxcroft, G.R., 2012. Responses to n-3 fatty acid (LCPUFA) supplementation of gestating gilts, and lactating and weaned sows. *Animal*, 7, 784–792. <https://doi.org/10.1017/s1751731112002236>.
- 140) Smit, M.N., Spencer, J.D., Patterson, J.L., Dyck, M.K., Dixon, W.T., Foxcroft, G.R., 2015. Effects of dietary enrichment with a marine oil-based n-3 LCPUFA supplement in sows with

- predicted birth weight phenotypes on birth litter quality and growth performance to weaning. *Animal*. 9, 471–480, doi:10.1017/S1751731114002390.
- 141) Smits, R.J.C., 2011. The Functional Role and Requirement for Long-Chain Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Breeding Gilts and Sows. Ph.D. Thesis, The University of Adelaide, Adelaide, Australia.
- 142) 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. *J. Anim. Sci.* 89, 2731–2738. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3593>.
- 143) Smits, R.J., Luxford, B.G., Mitchell, M., Nottle, M.B., 2013. Embryo survival, but not first-parity litter size, is increased when gilts are fed diets supplemented with omega-3 fatty acids from fish oil. *Anim. Prod. Sci.* 53, 57–66, doi:10.1071/AN12119.
- 144) Soede, N.M., Langendijk, P., Kemp, B., 2011. Reproductive cycles in pigs. *Anim. Reprod. Sci.* 124, 251–258, doi:10.1016/j.anireprosci.2011.02.025.
- 145) Song, J.H., Fujimoto, K., Miyazawa, T., 2000. Polyunsaturated (n-3) fatty acids susceptible to peroxidation are increased in plasma and tissue lipids of rats fed docosahexaenoic acid-containing oils. *J. Nutr.* 130, 3028–3033. <https://doi.org/10.1093/jn/130.12.3028>.
- 146) Spencer, J.D., Wilson, L., Webel, S.K., Moser, R.C., Webel, D.M., 2004a. Effect of feeding protected n-3 polyunsaturated fatty acids (Fertilium™) on litter size in gilts. *J. Anim. Sci.* 82 (Suppl. 2), 81.
- 147) Spencer, T.E., Burghardt, R.C., Johnson, G.A., Bazer, F.W., 2004b. Conceptus signals for establishment and maintenance of pregnancy. *Anim Reprod Sci.* 82–83:537–50. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.014>
- 148) Sprecher H., 2000. Metabolism of highly unsaturated n-3 and n-6 fatty acids. *Biochim Biophys Acta.* 1486:219–231, doi: 10.1016/s1388-1981(00)00077-9.
- 149) Staples, C.R., Burke, J.M., Thatcher, W.W., 1998. Influence of supplemental fats on reproductive tissues and performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 81, 856-871. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(98\)75644-9](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(98)75644-9).
- 150) Stark, A.H., Crawford, M.A., Reifen, R., 2008. Update on alpha-linolenic acid. *Nutr. Rev.* 66, 326–332, doi:10.1111/j.1753-4887.2008.00040.x.
- 151) Stillwell, W., Wassall, S.R., 2003. Docosahexaenoic acid: Membrane properties of a unique fatty acid. *Chem. Phys. Lipids.* 126, 1–27. [https://doi.org/10.1016/s0009-3084\(03\)00101-4](https://doi.org/10.1016/s0009-3084(03)00101-4).
- 152) Stryer, Lubert (1995). "Fatty acid metabolism." *Biochemistry* (4th ed.). New York: W. H. Freeman and Company. pp. 603–628. ISBN 978-0-7167-2009-6.
- 153) Sugiyama, M., 1994. Role of cellular antioxidants in metal-induced damage. *Cell Biol. Toxicol.* 10:1-22.
- 154) Sundaram, T.S., Giromini, C., Rebucci, R., Antonella Baldi, A., 2020. Omega-3 polyunsaturated fatty acids counteract inflammatory and oxidative damage of non-transformed porcine enterocytes. *Animals*, 10, 956. <https://doi.org/10.3390/ani10060956>.
- 155) Surai, P.F., 2002. Natural antioxidants in avian nutrition and reproduction. Nottingham University Press, Nottingham pp.1-21.
- 156) Suzuki, M., Otsuki, A., Keleku-Lukwete, N., Yamamoto, M., 2016. Overview of redox regulation by Keap1–Nrf2 system in toxicology and cancer. *Curr. Opin. Toxicol.* 1: 29–36.
- 157) Tang, S., Guo, S., Wang, J., Wang, Y., Fu, S., Shen, Z., 2019. Relationship between polyunsaturated fatty acids and animal production: A review. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.* 25, 731–740, doi:10.9775/kvfd.2018.21341.
- 158) Tanghe, S., De Smet, S., 2013. Does sow reproduction and piglet performance benefit from the addition of n-3 polyunsaturated fatty acids to the maternal diet. *Vet. J.* 197, 560–569, doi:10.1016/j.tvjl.2013.03.051.
- 159) Tanghe, S., Missotten, J., Raes, K., Vangeyte, J., De Smet, S., 2014. Diverse effects of linseed oil and fish oil in diets for sows on reproductive performance and pre-weaning growth of piglets. *Livest Sci.* 164:109–118, doi: 10.1016/j.livsci.2014.03.009

- 160) Tappel, A.L., Dillard, C.J., 1981. In vivo lipid peroxidation: Measurement via exhaled pentane and protection by vitamin E. *Fed. Proc.* 40:174-178.
- 161) Tatsumi, Y., Kato, A., Sango, K., Himeno, T., Kondo, M., Kato, Y., Kato, K., 2018. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids Exert Antioxidant Effects Through the Nrf2 Pathway in the Immortalized Mouse Schwann IMS32 Cells. *J. Diabet. Invest.* <https://doi.org/10.1111/jdi.12931>.
- 162) Taugbøl, O., Framstad, T., Saarem, K., 1993. Supplements of cod liver oil to lactating sows. Influence on milk fatty acid composition and growth performance of piglets. *Zentralbl Veterinarmed A.* 40:437–443, doi: [10.1111/j.1439-0442.1993.tb00650.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.1993.tb00650.x).
- 163) Thatcher, W.W., Staples, C.R., 2000. Effects of dietary fat supplementation on reproduction in lactating dairy cows. *Adv. Dairy Technol.* 12, 213-232.
- 164) Tóth, T., Mwau, P.J., Bázár, G., Andrásy-Baka, G., Hingyi, H., Csavajda, É., Varga, L., 2019. Effect of feed supplementation based on extruded linseed meal and fish oil on composition and sensory properties of raw milk and ultra-high temperature treated milk. *Int Dairy J.* 99:104552, doi: [10.1016/j.idairyj.2019.104552](https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104552)
- 165) Urbach, G., 1990. Effect of feed on flavor in dairy foods. *J Dairy Sci.* 73:3639–3650, doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(90\)79067-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)79067-4)
- 166) Uruno, A., Motohashi, H., 2011. The Keap1-Nrf2 system as an *in vivo* sensor for electrophiles. *Nitric Oxide* 25, 153–160.
- 167) Yao, W., Li, J., Wang, J.J., Zhou, W., Wang, Q., Zhu, R., Wang, F., 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. *J Anim Sci Biotechnol.* 3:43, doi: [10.1186/2049-1891-3-43](https://doi.org/10.1186/2049-1891-3-43)
- 168) Yin, H., Xu, L., Porter, N.A., 2011. Free radical lipid peroxidation: Mechanisms and analysis. *Chem Rev.* 111:5944–5972, doi: [10.1021/cr200084z](https://doi.org/10.1021/cr200084z)
- 169) Varst, van der R., 2001. Antioxidánsok, mint takarmányadalékanyagok, a nagy termelékenység biztositása. *Takarmányozás* 4(4): 22-25.
- 170) Vedin, I., Cederholm, T., Freund-Levi, Y., Basun, H., Hjorth, E., Irwing, G.F., Jönhagen, M.E., Schultzberg, M., Wahlund, L.O., Palmblad, J., 2010. Reduced prostaglandin F2 alpha release from blood mononuclear leukocytes after oral supplementation of omega3 fatty acids: The OmegAD study. *J. Lipid Res.* 51, 1179–1185, <https://doi.org/10.1194/jlr.M002667>.
- 171) Venkatraman, J.T., Chandrasekar, B., Kim, J.D., Fernandes, G., 1994. Effects of n-3 and n-6 fatty acids on the activities and expression of hepatic antioxidant enzymes in autoimmune-prone NZB×NZW F1 mice. *Lipids.* 29, 561–568. <https://doi.org/10.1007/bf02536628>.
- 172) Verma, A.K., Mahla, A.S., Chaudhari, R.K., Singh, A.K., Khatti, A., 2018. Effect of different levels of n-3 polyunsaturated fatty acids rich fish oil supplementation on the ovarian and endometrial functions in the goat (*Capra hircus*). *Anim. Reprod. Sci.* 195, 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.05>.
- 173) Visioli, F., Colombo, L., Galli, C., 1998. Oxidation of individual fatty acids yields different profiles of oxidation markers. *Biochim. Biophys. Res. Commun.* 245:487-489.
- 174) Vigh L., Smith, R.G., Soós, J., Engelhardt, J.I., Appel, S.H., Siklós, L., 2005. Sublethal dose of 4-hydroxynonenal reduces intracellular calcium in surviving motor neurons in vivo. *Acta Neuropathol.* 109:567-575.
- 175) Wang, H., Yun, M.H., Kim, I.H., 2021. Evaluation of dietary-coated omega-3 fatty acid supplementation on reproduction performance, growth performance, nutrient digestibility, and blood profiles in lactating sows and suckling piglets. *Can. J. Anim. Sci.* 101 <https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0074>.
- 176) Wathes, D.C., Abayasekara, D.R.E., Aitken, R.J., 2007. Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction. *Biol. Reprod.* 77, 190–201, <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.060558>.
- 177) Webel, S.K., Otto, E.R., Webel, D.M., Moser, R.L., Spencer, J.D., Orr, D.E., 2003. Effect of protected n-3 polyunsaturated fatty acids (Fertilium™) on litter size in sows. *J. Anim. Sci.* 81 (Suppl. 1), 18.

- 178) Weichselbaum, T.E., 1946. An accurate and rapid method for the determination of protein in small amounts of blood, serum and plasma. *Am. J. Clin. Path., Tech. Sect.* 10, 40.
- 179) Williams, C.A., 2000. Dietary fatty acids in human health. *Ann. Zootech.* 49, 165–180, doi:10.1051/animres:2000116.
- 180) Zaukuu, J.L.Z, Bazar, G., Gillay, Z., Kovacs, Z., 2020. Emerging trends of advanced sensor based instruments for meat, poultry and fish quality-A review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 60:3443–3460, doi: [10.1080/10408398.2019.1691972](https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1691972)

10. A DISSZERTÁCIÓ TÉMÁJÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

10.1. Külföldi tudományos folyóiratban megjelent publikációk

Roszkos, R., Tóth, T., Bazar, G., Fébel, H., Mézes, M., 2022. Effect of omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on oxidative stress parameters and sex hormone levels of modern genotype sows. *Veterinary Medicine and Science*, 1–12. <https://doi.org/10.1002/vms3.1026>

Roszkos, R., Bazar, G., Tóth, T., Kovacs, Z., Febel, H., Mezes, 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*, 49:1, 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 (Basel)*. 10(7):1141. <https://doi.org/doi:10.3390/ani10071141>

10.2. Hazai tudományos folyóiratban megjelent publikációk

Roszkos, R., 2023. Az n-3 zsírsavak hatása nagy teljesítményű tenyészkocák fontosabb termelési és szaporodásbiológiai paramétereire. *Scientia et Securitas*. (4):1-10. <https://doi.org/10.1556/112.2022.00108>

Roszkos, R., 2022. Az elektromiográfia fejlődése és alkalmazásának lehetőségei a tenyészkocák szaporodásbiológiai folyamatainak vizsgálatában (szemleciikk). *Állattenyésztés és Takarmányozás*. 71(2):88-104.

Roszkos R, Tóth T, Fébel H, Mézes M. 2020b. Effect of different n-6/n-3 fatty acid proportion oil sources on reproduction performance and fatty acid profile of milk in modern genotype sows - preliminary results. *Acta Agrar Debr*. 1:121–128. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/3742>