

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

ROSZKOS RÓBERT

GÖDÖLLŐ
2023



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

Élettani és Takarmányozástani Intézet
Takarmánybiztonsági Tanszék
Állatbiotechnológiai és Állattudományi Doktori Iskola

Doktori Iskola vezetője:

Dr. Mézes Miklós
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

Témavezető:

Dr. Mézes Miklós
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

AZ N-3 ZSÍRSAVAK HATÁSAINAK VIZSGÁLATA NAGY TELJESÍTMÉNYŰ KOCÁK SZAPORODÁSBIOLÓGIAI PARAMÉTEREIRE

Készítette:
ROSZKOS RÓBERT

GÖDÖLLŐ
2023

1. A kutatás előzményei, célkitűzések

A nagyüzemi sertésenyésztés jelentősen átalakult az elmúlt évtizedekben, világszerte modern, ún. „szuperszopora” fajták terjedtek el. A nagy alomlétszám mellett az ilyen fajták malacai nagyobb növekedési eréllyel, hízósertései jobb hizlalási tulajdonságokkal rendelkeznek. A jobb szaporasági mutatókra irányuló genetikai szelekció következtében kialakuló nagy alomlétszám magasabb halvaszületési aránnyal és alacsonyabb, valamint inhomogén születési tömeggel jár együtt, ami a megnőtt számú, gyenge életképességű malac miatt magas választás előtti elhullást eredményez.

A „szuperszopora” 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 takarmányozás útján történő támogatása az egyik fő gazdasági cél.

A sertéstakarmányok energiatartalmát hagyományos módon zsír-, illetve olajkiegészítéssel növelik, mivel ezek energiakoncentrációja 2-2,5-szer nagyobb más alapanyagokhoz képest. Egyes zsírforrások azonban nem csak a takarmányok energiatartalmának növelésére alkalmazhatóak, mivel a bennük található zsírsavak pozitív hatást gyakorolnak a szaporodásbiológiai és egyéb élettani folyamatokra is. 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 sertésenyésztéssel 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 az n-3 zsírsavakat a tenyészkocák takarmányaiba keverni annak érdekében, hogy az állatok termelési mutatói javuljanak.

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. Céлом 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. Az ultragyors gázkromatográfiára alapozott elektronikus orr halolaj, illetve egyéb takarmánykomponensek illatmódosító hatásának kimutatására történő alkalmazhatóságát kívántam vizsgálni, valamint, hogy a különböző dózisban etetett halolaj előidéz-e változást a kocatej, továbbá egyes kiegészítő és keveréktakarmányok illatprofiljában.
3. Több kísérletben terveztem vizsgálni, hogy a különböző dózisban etetett halolaj milyen hatással van a tenyészkocák takarmányfelvételére, szaporodásbiológiai paramétereire, illetve a kocák és malacok termelési mutatóira. Céлом volt továbbá felmérni, hogy az n-3 zsírsavakban gazdag halolaj rövid távú, de magasabb dózisban (6,3 – 12,6 g/kg takarmány), vagy a hosszú távú, de alacsonyabb dózisban (3,15 g/kg) történő etetése előnyösebb-e a tenyészkocák számára.
4. Céljaim között szerepelt a szoptatás és a vemhesség első harmada során történő 6,3 g/kg dózisú halolaj- etetés tenyészkocák szervezetében zajló lipidperoxidációs 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. Vizsgálatokat terveztem arra vonatkozóan, hogy a 6,3 g/kg dózisban történő halolajkiegészítés milyen hatással van a tenyészkocák szaporodásbiológiai szempontból fontos hormonjainak (17β -ösztradiol, progeszteron, prosztoglandin $F2\alpha$) szintjére a különböző termelési fázisokban.

2. Anyag és módszer

2.1. Az elvégzett kísérletek

2.1.1. Az első kísérlet

Az első kísérletet egy 2500 kocás, DanBred állománnyal termelő nagyüzemi sertéstelepen végeztük két ismétlésben. A takarmányozás kukorica-árpa-szójadara alapú volt. A kísérleti szoptató kocatakarmányokba 6,3 g/kg dózisban szervesen hordozóra felvitt halolajat (HO) kevertünk, míg a kontroll csoport azonos mennyiségű, szintén szervesen hordozóra felvitt napraforgóolajat (NO) kapott. A kiegészítő takarmányok árpadara helyett kerültek a receptbe. A vemhes kocatápra nem volt mód bekeverni a kísérleti és a kontroll kiegészítő takarmányokat, így azokat „on top”, a kietetett adagon felül kapták naponta az állatok. A bekevert NO, illetve HO miatt a kontroll és a kísérleti szoptató tápok n-6/n-3 zsírsav aránya jelentősen megváltozott (15,08 vs. 7,38).

Az első kísérlet a fiaztató termekbe történő betelepítés után a 110.-114. vemhességi napon kezdődött és a következő vemhességvizsgálattal (ultrahangos diagnosztika) ért véget. A kísérletbe többször ellett kocákat vontunk be (ellésszám: 2-6). 12 kontroll és 12 kísérleti kocától tejmintákat gyűjtöttünk, amelyeknek vizsgáltuk táplálóanyagtartalmát és zsírsavösszetételét. 24 kontroll és 24 kísérleti kocától alvadásban gátolt vérmintákat vettünk a szoptatás 14. napján, a választást követő 5., és a 30 napos vemhességvizsgálat napján. A vérmintákból meghatároztuk azok malondialdehid (MDA) és redukált glutation (GSH) szintjét, valamint a glutation-peroxidáz (GPx) aktivitását. A vérszérumból meghatároztuk a 17 β -ösztadiol (E2), progeszteron (P4) és 6-keto-PGF1 α szinteket. Állatkísérleti engedélyszám: PE/EA/872-8/2020.

2.1.2. A második kísérlet

A második kísérletet a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Élettani és Takarmányozási Intézetének herceghalmi kísérleti sertéstelepeén végeztük. A telep kocalétszáma kb. 100 db (F1 (nagyfehér \times lapály), illetve Hypor, Cora). A kísérletet egy ismétlésben, de két egymást követő szaporodásbiológiai ciklusban végeztük. A kontroll csoport szoptatókoca takarmányába n-6 zsírsavakban gazdag napraforgóolajat, míg a kísérleti tápra n-3 zsírsavakban gazdag halolajat kevertünk 12,6 g/kg dózisban. A kiegészítő takarmányok azonos mennyiségű kukoricadara helyére kerültek a tápokba.

A kísérletbe 8 kontroll és 8 kísérleti kocát vontunk be, amelyek közül 3-3 többször fiatal, 5-5 pedig első fialású volt. A második kísérlet végén, a választás utáni 5. napon, illetve a

választás utáni 12. napon két-két kiselejtezett és levágott koca petefészkein makroszkópos vizsgálatok végeztünk.

2.1.3. A harmadik kísérlet

A harmadik kísérletet egy 2100 kocás, F1 (nagyfehér × lapály), illetve DanBred (Dán nagyfehér × Dán lapály) állománnyal termelő nagyüzemi sertéstelepen végeztük két ismétlésben, egy teljes szaporodásbiológiai cikluson keresztül. A kísérlet során összesen 161 kontroll és 164 kísérleti állat adatait értékeltük.

A kísérleti kocák a szoptató, bűgató és vemhes kocatápokba keverve 3,15 g/kg takarmány dózisban szervesen hordozóra felvitt halolajat kaptak. A kontroll csoportok takarmányai nem tartalmaztak kiegészítést. A kontroll csoportok takarmányai (szoptató és bűgató tápok) ugyanakkor nagyarányban 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 be a kocatápokba.

2.2. Kémiai és egyéb analízisek

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

A tej (1. kísérlet) és takarmányminták (1., 2., 3. kísérlet) zsírsavösszetételének elemzése minden kísérletben gázkromatográfiás módszerrel (GCMS-QP2010 SE; Shimadzu, S.A., Kyoto, Japán) történt.

Az alvadásban gátolt (EDTA) vérmintákat a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem Élettani és Takarmányozástani Intézetének Takarmánybiztonsági Tanszékén vizsgáltuk. A vérplazma és a vörösvérsejt-hemolizátumok GSH tartalmát, a nem fehérje szulfhidril csoportok 5,5-ditiobisz-2-nitrobenzoesavval történő komplex képzése alapján, míg az MDA tartalmát a 2-tiobarbitursavas komplex képzéses módszerrel határoztuk meg. Vérplazma és vörösvérsejt-hemolizátumok GPx aktivitása direct end-point assay segítségével történt.

A vérszérum minták hormonvizsgálatát az Állatorvostudományi Egyetem Szülészeti és Szaporodásbiológiai Tanszékének Endokrinológiai Laboratóriumában végeztük. A minták progeszteron és ösztrogén kimutatásához a laboratóriumban fejlesztett és validált radioimmunoassay-t használták. A 6-keto-PGF1 α vizsgálata enzimhez-között immunoassay (ELISA) módszerrel történt (Abcam, Cambridge, UK).

2.3. Elektronikus orr mérések

A műszeres aromaprofil vizsgálatokat Alpha MOS Heracles NEO 300 elektronikus orr berendezéssel végeztük (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország) az ADEXGO Kft. laboratóriumában. A berendezés automatikus mintakezelő egységgel (CTC Analytics AG, Zwingen, Switzerland) felszerelt, két lángionizációs detektorral (FID) és az illékony összetevőket koncentráló csapdával ellátott kétoszlopos ultragyors gázkromatográf. A mérésekhez az AlphaSoft ver. 16 (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország) vezérlő és adatelemző szoftvert használtuk. A mintákról felvett kromatogramokhoz Kováts-féle retenciós indexeket rendeltünk, a kromatogramok csúcsait az adott retenciós indexszel jelölt virtuális szenzorként, míg a csúcs alatti területet az adott szenzor intenzitásaként értelmeztük. A retenciós indexek alapján az illékony komponenseket az AroChemBase (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország) segítségével azonosítottuk.

Az első kísérletből 24 kocatej minta aromaprofilját vizsgáltuk. A második kísérlet során 16 (8 kiegészítő takarmány és 8 készkép minta), míg a harmadik kísérlet során összesen 45 (10 kiegészítő takarmány és 35 készkép minta) takarmánymintán végeztünk e-orr méréseket.

2.4. Statisztikai értékelés

A kísérleti eredmények matematikai statisztikai értékelését az SPSS Statistics 26.0 for Windows programmal (IBM, Armonk, NY, USA) végeztük.

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 választott szignifikancia szint valamennyi statisztikai elemzésnél $p=0,05$ volt, $p\leq 0,1$ esetén tendenciát állapítottunk meg. A statisztikai elemzést a kísérleti adatok szűrésével kezdtük. A szórás 2,5-szeres értékeinél nagyobb, valamint a kiugróértékvizsgálat által megjelölt értékeket 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.

Az elektronikus orr adatok elemzéséhez az AlphaSoft ver. 16 (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország) vezérlő és adatelemző szoftvert használtuk. Az illatmintázatokat főkomponenselemzéssel (PCA) írtuk le, az egyes csoportok illat alapján történő elkülöníthetőségét lineáris diszkriminancia elemzéssel (LDA) vizsgáltuk.

3. Eredmények és értékelésük

3.1. A kocák és malacaik termelési mutatói

Az első kísérletbe vont kocák és malacaik főbb termelési paramétereit a 1. táblázat mutatja be. 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 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).

1. 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
Választott malac/alom (db)	13,42±1,24	13,15±1,51	-
Átlagos választási malactömeg (kg)	6,33	6,33	-
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

Kontroll = 6,3 g/kg napraforgóolaj; Kísérleti = 6,3 g/kg halolaj; A felső index nélküli sorokban található adatok statisztikailag nem különböznek egymástól; ¹Az ivarzásig több mint 7 nap telt el.

A második kísérlet kontroll és kísérleti kocáinak és malacainak fontosabb termelési mutatóit két egymást követő fialás során a 2. táblázat mutatja be.

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

	Kontroll	Kísérleti	P-érték
Élve született malac (db)	12,40±3,1	12,50±3,5	0,94
Átlagos alomtömeg (kg)	17,20±3,9	16,60±3,7	0,74
Átlagos malactömeg (kg/db)	1,41±0,2	1,39±0,3	0,88
Takarmányfelvétel a fiazatóban (kg/koca)	200,10 ^a ±2,2	189,60 ^b ±8,9	0,01
Tömegvesztés a szoptatás alatt (kg/koca)	35,60±19,6	45,60±20,0	0,35
Választott malac (db)	10,30±2,0	9,88±2,5	0,74
Szopós elhullás (%)	11,50	15,10	-
Választott malactömeg (kg/db)	8,41±1,3	8,42±1,2	-
7 napon belül ivarzó kocák aránya (%)	87,50	85,70	-
Ivarzásig eltelt átlagos idő (nap)	5,57±0,54	5,50±0,55	0,82
Vemhesülési arány (%)	87,50	66,70	-

Következő fialás			
	Kontroll	Kísérleti	P-érték
Élve született malac/alom (db)	9,43 ^b ±2,76	13,33 ^a ±2,8	0,03
Összes született malac/alom (db)	10,71 ^b ±2,50	14,17 ^a ±2,71	0,04
Átlagos alomtömeg (kg)	16,74±3,02	19,37±4,98	0,27
Átlagos 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 malactömeg (kg/db)	7,71±0,99	7,50±1,71	0,80

^{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 kísérleti kocák az első szoptatás alatt szignifikánsan kevesebb takarmányt vettek föl, mint a kontroll állatok (189,6 vs. 200,1 kg), amely hatással volt szoptatás alatti tömegvesztésükre, továbbá malacaik teljesítményére is. Bár a különbségek nem szignifikánsak, a szopós kori elhullás és a választott alomtömeg is alacsonyabb volt a kísérleti csoportban.

A kocák választás utáni szaporodásbiológiai paraméterei között nem találtunk különbséget, viszont jelentős volt a csoportok vemhesülési arányának alakulása. A kontroll csoport 30 napos vemhességvizsgálati eredményei alapján az állatok 87,5%-a lett vemhes, míg ez az adat a kísérleti kocák esetében csak 66,7%.

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.

A harmadik kísérlet kocáinak átlagos napi takarmányfelvételét, a malacok átlagos választási tömegét és a szopósmalac elhullást a 3. 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 szopós kori elhullás mindkét ismétlésben a kísérleti csoportban volt alacsonyabb (1. ism.: 12,58% vs. 8,74%, $p \leq 0,001$; 2. ism.: 12,64% vs. 9,53%, $p \leq 0,04$).

3. 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	0,001	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; A felső index nélküli sorokban található adatok statisztikailag nem különböznek egymástól.

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%) (4. táblázat).

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.: 67,6% vs. 73,6%).

4. 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/vetélt (%)	3,9%	4,1%	-	7,4%	9,7%	-
Vemhesen selejtezt (%)	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; A felső index nélküli sorokban található adatok statisztikailag nem különböznek egymástól.

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, $p \leq 0,036$; második fialás: 14,79 vs. 13,17 db, $p \leq 0,007$), míg a második ismétlésben nem volt 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).

3.3.2. A kocatej táplálányagtartalma és kémiai összetétele

A kocatej szárazanyag-, fehérje- és zsírtartalmát nem befolyásolta a kocatakarmányok halolajjal, illetve napraforgóolajjal történő kiegészítése.

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

A napraforgó- és a halolaj kiegészítés megváltoztatta a kontroll és kísérleti kocák tejének zsírsavösszetételét (5. táblázat). 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 ($p < 0,001$). Az n-3 PUFA mennyisége a kontroll tejmintákban 0,69 mg/ml, míg a kísérleti tejmintákban 1,17 mg/ml volt ($p < 0,001$).

5. táblázat. Az első kísérlet tejmintáinak zsírsavösszetétele.

Vizsgált zsírsavprofil (mg zsírsav/ml tej)	Kontroll	Kísérleti	P-érték
ΣSFAs	35,50 ± 4,43	33,22 ± 4,29	0,23
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
C20:5 (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
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	-

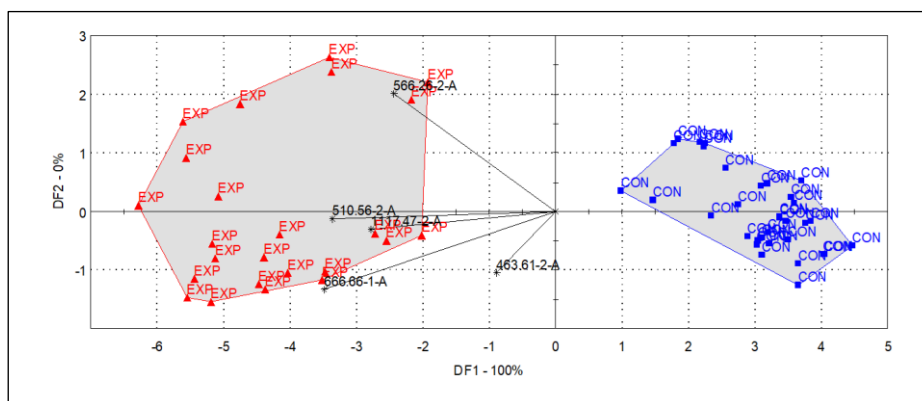
SFAs, telített zsírsavak; MUFAs, egyszerűen telítetlen zsírsavak; PUFAs, többszörösen telítetlen zsírsavak; ^{a,b} Az azonos sorban lévő különböző felső indexek szignifikáns különbséget jelölnek $P < 0,05$ szignifikancia szint mellett; A felső index nélküli sorokban található adatok statisztikailag nem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

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

3.3.4. A kocatej illatprofil-meghatározása elektronikus orral

Az első kísérlet kocatej mintáit három párhuzamosban vizsgáltuk. A kiugró értékék azonosítására főkomponens analízist (PCA) alkalmaztunk és összesen 57 mérés adatait elemeztük.

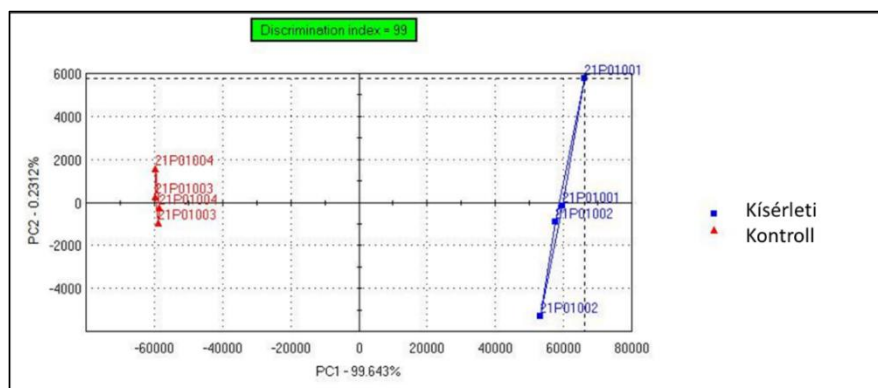
Az eltérően takarmányozott egyedektől gyűjtött tejminták a takarmányozási csoportok szerint jól elkülöníthetők az elektronikus orr által leírt aromaprofil alapján (1. ábra). Az a tény, hogy a kísérleti és a kontroll csoport között még nem felügyelt osztályozási módszerrel (PCA) is egyértelmű különbség van, a takarmányozás tej aromájára gyakorolt egyértelmű hatását jelzi. A kiválasztott szenzorok, amelyek a 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.



1. 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.

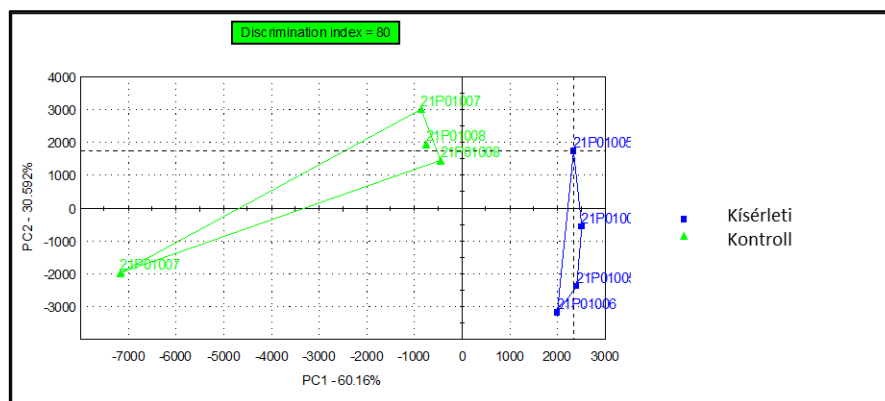
3.3.5. A különböző takarmányminták illatprofil-meghatározása elektronikus orral

A második kísérlet kiegészítő takarmányainak illatprofiljait főkomponens analízissel írtuk le. Megvizsgáltuk, hogy a kontroll és kísérleti kiegészítő takarmányok illatkomponensei különböznek-e annyira, hogy ezáltal a két csoport szétválasztható legyen. A PCA elemzés (2. ábra) szerint a halolaj és a napraforgóolaj alapú kiegészítő takarmányok mintái illatprofil alapján egyértelmű elkülönülést mutattak.



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

A kapott eredmények alapján valószínűsítettük, hogy a kiegészítő takarmányok hozzáadásával készült készítapok is megkülönböztethetők lesznek illatmintázatuk alapján. A 3. ábrán a második kísérlet kontroll, illetve kísérleti készítapjainak főkomponens elemzéssel készült illatprofil összehasonlítása látható. Az ábra azt mutatja, hogy a kontroll és a kísérleti készítakarmányminták egyértelműen elkülöníthetők egymástól.



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

A harmadik kísérletben hatféle készítap vizsgálatát végeztük el elektronikus orr segítségével. A kísérleti szoptató és bűgató kocatápok aromatizált kísérleti kiegészítő takarmányt tartalmaztak, a kísérleti vemhes kocatápban viszont aroma nélküli kísérleti kiegészítő takarmány volt.

A harmadik kísérlet első és második ismétlése során etetett kísérleti és kontroll készitakarmány minták főkomponens elemzéséből megállapítottuk, hogy a szoptató táp egyértelműen megkülönböztethető a vemhes és bűgató tápoktól mindkét kezelés esetében (kontroll, kísérleti), de a két utóbbi csoport nem válik el egymástól. A tápok természetes illatában mutatkozó különbség tehát felülírta a kiegészítő takarmányok aromatizálásából adódó különbségeket.

Végül megvizsgáltuk, hogy az elektronikus orral leírható-e egyértelmű különbség a kísérleti és kontroll kocatápok illata között. Az első ismétlés készitakarmányainak PCA eredménye alapján a kísérleti és kontroll minták elkülöníthetők egymástól. A második ismétlés során etetett készitakarmányok esetében azonban már nem tudtuk egyértelműen elkülöníteni a kísérleti és kontroll takarmányokat egymástól, mert a kísérleti bűgató táp és a kontroll szoptató táp PCA diagrammja átfedést mutatott.

3.3.6. Lipidperoxidáció és az antioxidáns rendszer

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 vörösvérsejt-hemolizátumban ($p=0,038$) a napraforgóolajjal összehasonlítva (6. táblázat).

A kezelés \times 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.

6. táblázat. Az első kísérlet során mért antioxidáns és lipidperoxidációs markerek értékei (n=24/kezelés)

	A szoptatás 14. napja			A választás utáni 5. nap			A termékenyítés utáni 30. nap			P-érték, interakció (időszak × kezelés)	
	KON	KÍS	p	KON	KÍS	p	KON	KÍS	p	KON	KÍS
Vérplazma											
GSH (μmol/g feh)	2,74	2,82	0,99	3,01	2,97	1,00	2,61	2,82	0,80	0,080	0,461
GPx (E/g fehérje)	2,87 ^b	3,28 ^{aA}	0,01	3,00	2,83 ^B	0,70	3,11	3,01 ^B	0,91	0,082	0,005
MDA (μmol/ml)	9,67	10,94	0,42	10,50	9,70	0,84	10,71	11,05	0,10	0,220	0,139
Vörösvértest hemolizátum											
GSH (μmol/g feh)	5,93 ^B	5,04 ^B	0,08	7,38 ^{bA}	8,38 ^{aA}	0,04	5,26 ^B	5,30 ^B	1,00	<0,001	<0,001
GPx (E/g fehérje)	3,75 ^b	4,74 ^{aA}	0,00	3,89	3,75 ^B	0,10	4,08	3,79 ^B	0,91	0,505	<0,001
MDA (μmol/ml)	12,18	12,81 ^{AB}	0,95	13,17	14,17 ^A	0,72	13,09	11,21 ^B	0,13	0,344	<0,001

KON=kontroll kezelés (napraforgóolaj); KÍS=kísérleti kezelés (halolaj); GSH=redukált glutation; GPx=glutathion-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

3.3.7. 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-PGF1α esetében szignifikánsan kisebb szinteket tapasztaltunk a kísérleti csoportban ($p=0,035$, illetve $p=0,001$), de a P4 szintek között nem volt különbség (7. táblázat). A választást követő 5. napon (termékenyítés) a plazma P4 szintje szignifikánsan nagyobb volt ($p=0,036$) a kísérleti csoportban, míg a 6-keto-PGF1α 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-PGF1α szintje is alacsonyabb volt a kísérleti csoportban ($p=0,077$, tendencia).

7. 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-PGF1α (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-PGF1α (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-PGF1α (pg/ml)	242	184 ⁺	17,08	0,077

KON=kontroll kezelés (napraforgóolaj); KÍS=kísérleti kezelés (halolaj); SEM=szórás; P4= progeszteron; E2=17β-ösztadiol; 6-keto-PGF1α=6-Keto prosztaglandin F1α

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, $0,05 < p < 0,1$

3.3.8. Petefészekvizsgálatok

A 2790 és 1022 fülszámú kocák ivarzási tüneteket mutattak a vágás előtt. A 2790 fülszámú kontroll koca bal petefészkén 10 db, míg a jobb oldalin 13 darab harmadrendű (tertier) tüszőt találtunk (4.a ábra). Az 1022 fülszámú kísérleti koca bal petefészkén 16 db, míg a jobbon 13 darab harmadrendű (tertier) tüszőt találtunk. A petefészekken korábbi ivari tevékenységre utaló *corpus albicans* képleteket is azonosítottunk (4.b ábra).



4.a-4.b ábra. A 2790 és az 1022 fülszámú koca petefészkei

Az 1035 és 1005 fülszámú kocák a választást követő 12. napon kerültek levágásra. A 1035 fülszámú koca bal petefészkén 13 db, míg a jobb oldalin 12 darab *corpus haemorrhagicumot* (CH), valamint 12-13 db alacsonyabb rendű tüszőt találtunk (5.a ábra). Az 1005 fülszámú kísérleti koca jobb és bal petefészekén 13-13 db *corpus haemorrhagicum*, valamint 15 és 14 db alacsonyabb rendű tüsző volt látható (5.b ábra). A petefészekken korábbi ivari tevékenységre utaló *corpus albicans* képleteket is találtunk.



5.a-5.b ábra. Az 1035 és az 1005 fülszámú koca petefészkei

A petefészekvizsgálatok alapján elmondható, hogy a halolaj 12,6 g/kg dózisban történő etetése a szoptatás alatt pozitívan befolyásolta a tenyészkocák petefészekén található különböző stádiumú tüszők, illetve egyéb petefészekképletek (CA, CH) mennyiségét és minőségét, az n-6 zsírsavakat tartalmazó napraforgóolaj, hasonló dózisban történő etetésével szemben.

4. Következtetések és javaslatok

A halolaj alacsony dózisban (6,3 g/kg) történő etetése szignifikánsan növelte a legmagasabb biológiai értékkel rendelkező n-3 zsírsavak (EPA, DPA, DHA) mennyiségét a kocatejben, ami javítja a malacok zsírsavellátását. A halolajkiegészítés a napraforgóolajhoz képest megkülönböztethető változást idézett elő a kocatej elektronikus orral rögzített illatprofiljában, amiért részben a halolajban található telítetlen zsírsavak oxidációja során képződő vegyületek tehetők felelőssé. A halolaj már alacsony dózisban is kimutatható hatással van a takarmányok és a kocatej illatára, ezért az állatok takarmányfelvételére gyakorolt hatásának vizsgálta is fontos. 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 halolajban található n-3 zsírsavak hosszú távú, mérsékelt dózisban történő etetése előnyösebb, mint a rövidebb távú, de magasabb dózisban történő etetés. A 6,3 g/kg dózisban etetett halolaj a napraforgó kiegészítéssel összehasonlítva szignifikáns hatással volt a tenyészkocák GSH szintjére és a GPx aktivitására. Az 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 biztonságosnak tekinthető.

Az n-6 és n-3 zsírsavak hatása a vizsgált hormonok (E2, P4, 6-keto-PGF1 α) szintjére azzal magyarázható, hogy az n-6 zsírsavak segítik a PGF2 α képződését, míg az n-3 zsírsavak gátolják azt, amit mindhárom vizsgált időszakban sikerült igazolnunk. Az n-3 zsírsavak szoptatás alatt történő etetése növelte a petefészkeken található tüszők számát és méretét, ami hozzájárulhat az embriók számának és életképességének növekedéséhez.

Az n-3 zsírsavak tenyészkocákkal történő etetése jelentős gazdasági előnyt jelenthet a sertéstelepek számára. Az ivarzásig eltelt idő rövidülése csökkenti az ún. „üres napok” számát, míg a rendszeren ivarzó állatok növekvő aránya az improduktív kocákét. A jobb vemhesülési és fialási eredmények csökkentik a kocasejtezést, valamint a szükséges kocasüldők számát. 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. A malacok anyatejen keresztüli, n-3 zsírsavakkal történő ellátása a malacok életképességét és növekedési erélyét javíthatja, ami 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) vezettem 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), kocatakarmányokban 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, hogy 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. A disszertáció témájában megjelent publikációk jegyzései

6.1. Külföldi folyóiratokban 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. 2020a. 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>

6.2. Hazai folyóiratokban 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>
