

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

JÁRÓ-NAGY KATALIN

**MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM
KAPOSVÁRI CAMPUS
ÉLETTANI ÉS TAKARMÁNYOZÁSTANI INTÉZET**

Kaposvár

2021

MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

KAPOSVÁRI CAMPUS

Élettani és Takarmányozástani Intézet

Doktori Iskola vezető

PROF. DR. SZABÓ ANDRÁS

MTA doktora

Témavezető

DR. TÓTH TAMÁS

egyetemi docens

Társ-témavezető

PROF. DR. FÉBEL HEDVIG

egyetemi magántanár

KÜLÖNBÖZŐ CELLULÓZ-, HEMICELLULÓZ- ÉS LIGNINTARTALMÚ
NÖVENDÉK ÉS HÍZÓSERTÉS TAKARMÁNYOK ETETÉSÉNEK
VIZSGÁLATA EMÉSZTÉS-ÉLETTANI ÉS MIOGRÁFIÁS
MODELLVIZSGÁLATOKBAN VALAMINT ÜZEMI KÍSÉRLETEKBEN

Készítette

JÁRÓ - NAGY KATALIN

KAPOSVÁR

2021

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	5
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1. A rost fogalma, általános jellemzése és csoportosítása a rostmeghatározási módszerek bemutatásán keresztül	7
2.2. A különböző rostforrások fermentációja és azok emésztőtraktusra gyakorolt hatása	11
2.3. Különböző rosttartalmú takarmányalapanyagok illetve melléktermékek felhasználhatósága a növedék sertések takarmányozásában	16
2.3.1. A különböző rostforrások hatása a növedék sertések termelési mutatóira	19
2.4. A nagy rosttartalmú takarmányok alkalmazása és a receptúrakészítéskor használt energiaérték közötti kapcsolat.....	28
2.5. Elektrogasztrográfia	30
2.5.1. Az elektrogasztrográfia (EGG) fogalma és alapja.....	30
2.5.2. Az izomtevékenységek jellemzésére használt paraméterek	32
2.5.3. Az EGG mérési módszer fejlődése humán és sertés vonatkozásában.....	33
3. CÉLKITŰZÉS	39
4. ANYAG ÉS MÓDSZER	41
4.1. A nagy rosttartalmú ipari melléktermék alapú takarmánykeverékek etetésének hatása a növedék és hízósertések termelési mutatóira	41
4.1.1. Analitikai elemző vizsgálatok a hazai növedéksertés takarmánykeverékek nyersrosttartalmára illetve az egyes rostfrakciók mennyiségére vonatkozóan.....	41
4.1.2. Különböző melléktermékek (kukorica-DDGS, szójajaj, búzakorpa, cukorrépapellet) etetésének hatása a növedék- és hízósertések termelési mutatóira nagy NDF-tartalmú takarmányozás mellett.....	42
4.2. A rost emésztőrendszerre gyakorolt hatásának monitorozása a simaizomszövet elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) vizsgálatával növedéksertésben	47
4.2.1. Miográfiás mérőműszer alkalmazhatóságának vizsgálata sertés esetében.....	48
4.2.2. A gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetének elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) vizsgálata éber sertésekkel, nagy rosttartalmú takarmányozás mellett anyagcsereketrecben	50
4.2.3. Nagy rosttartalmú takarmány etetésének hatása a gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetére (Smooth muscle electromyography - SMEMG) éber, szabadon mozgó növedék sertések esetében	53
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	58
5.1. A nagy rosttartalmú ipari melléktermék alapú takarmánykeverékek etetésének hatása a növedék- és hízósertések termelési mutatóira	58

5.1.1. Analitikai elemző vizsgálatok a hazai növedéksertés takarmánykeverékek nyersrosttartalmára illetve az egyes rostfrakciók mennyiségére vonatkozóan.....	58
5.1.2. Különbözö melléktermékek (kukorica-DDGS, szójahéj, búzakorpa, cukorrépaperlet) etetésének hatása a növedék és hízó sertések termelési mutatóira nagy NDF-tartalmú takarmányozás mellett.....	65
5.2. Növedék sertések gasztrointesztinális simaizom szövetének elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) vizsgálata.....	70
5.2.1. Miográfiás mérömszer alkalmazhatóságának vizsgálata sertés esetében.....	70
5.2.2. A gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetének elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) vizsgálata éber sertésekkel, nagy rosttartalmú takarmányozás mellett anyagcsereketrecben	71
5.2.3. Nagy rosttartalmú takarmány etetésének hatása a gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetére (Smooth muscle electromyography - SMEMG) éber, szabadon mozgó növedék sertésekeknél	74
5.3. Növedék sertésekben a gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetének elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) mérési eredményeinek értékelése.....	76
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	82
6.1. A nagy rosttartalmú ipari melléktermék alapú takarmánykeverékek etetésének hatása a növedék és hízósertések termelési mutatóira kísérletek alapján levonható következtetések és javaslatok.....	82
6.2. A növedék sertések gasztrointesztinális simaizom szövetének elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) vizsgálataival kapcsolatban levonható következtetések és javaslatok.....	84
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	86
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	88
9. SUMMARY	91
10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	94
11. IRODALOMJEGYZÉK.....	96
12. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK	112
13. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉN KÍVÜL MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK	114
14. SZAKMAI ÖNÉLETRAJZ.....	115

1. BEVEZETÉS

A föld lakosságának valamint az egy főre jutó bruttó hazai termék (GDP) folyamatos növekedésének következtében az elmúlt 20 évben exponenciálisan nőtt a húsfogyasztás. A világ fejlődő részén utóbbi mennyisége megháromszorozódott, 45 tonnáról 134 tonnára nőtt (Thornton, 2010).

A rendelkezésre álló gabona- és fehérjeforrásokért nem csak az állattenyésztés és -tartás versenyez, hanem a növekvő humán fogyasztás is. Tekintettel arra, hogy a természeti erőforrások köre véges, ezért a hatékony termelőképesség egyetlen záloga az egyre kiélezett körülmények (klímaváltozás, folyamatosan csökkenő vízkészlet) között a termelés volumenének növelése, minimális környezetterhelés mellett. A megváltozott körülmények miatt gazdasági állataink takarmányozása is új kihívások előtt áll. Az elmúlt évtizedekhez viszonyítva a takarmányozás jóval sokrétűbb és összetettebb tudományterület lett. A termelési eredmények hatékony és gazdasági szempontból is kedvező alakulása érdekében, a szakembereknek ismerniük és alkalmazniuk kell a legújabb tudás- és ismeretanyagokat.

Tudatosan kell használni az új tudományterületeket (nutrigenomika, molekuláris genetika, növekedési modellek) és az információk birtokában célzottan kell megválasztani az egyes táplálóanyagokat a legnagyobb hatékonyság érdekében. Számos esetben az egészségi állapot, a takarmányozás, vagy egy jól, a termelési célnak megfelelően megválasztott genotípus sem képes önmagában a maximális termelési volument biztosítani. Számolni kell olyan tényezőkkel is, mint a klímaváltozás hatása gazdasági állataink termelési körülményeire, és ehhez megfelelően változtatni kell a takarmányozási gyakorlaton.

Napjainkban számos analitikai módszer áll rendelkezésre, hogy egyre több információt kaphassunk a felhasználni kívánt alapanyag tápláléértékéről. Ezen eljárásokkal nyert adatok egy részét széleskörben alkalmazzák, míg más analitikai eljárások eredményeit csak nagyon ritkán. Erre példa az alapanyagok rosttartalmának meghatározása, és azon belül a rostot alkotó vegyületek azonosítása. A sertéseknél használt takarmány-alapanyagok nyersrosttartalmát rutinszerűen vizsgáljuk. A kapott adattal számol a hazai gyakorlat még mindig a takarmányadagok és keveréktakarmányok esetében is. Annak ellenére, hogy a sertések takarmányozásában egyre nagyobb arányban alkalmazunk rostban gazdag alapanyagokat, amelyek felhasználásához elengedhetetlen ismernünk milyen szénhidrátok alkotják az adott takarmányalapanyagot illetve azok aránya és mennyisége hogyan alakul az etetett takarmánykeverékekben. A laboratóriumokban ezért egyre inkább szükséges a

nyersroston kívül a rostfrakciók és az egyes szénhidrátok mennyiségének meghatározása. Ez biztosítja a rostforrások takarmányreceptúrákba történő beillesztésének helyes gyakorlatát.

A takarmányozáson kívül az állattenyésztés is hatalmas változáson ment keresztül az elmúlt évtizedekben. A tenyésztőmunka eredményeként, illetve a megváltozott takarmányozási körülményekhez való alkalmazkodás következményeként olyan kedvező fiziológiai változások mentek végbe gazdasági állataink szervezetében (pl. sertés esetében a vastagbél térfogatának és tömegének növekedése), melyek új lehetőséget jelenthetnek az alapanyagok szélesebb körű felhasználását illetően. Ezen megváltozott körülményeket vizsgálni és értékelni kell. Az új genotípusokra alapozott takarmányozási irányelveket és ajánlásokat a hazai takarmányozási gyakorlatban alkalmazni kell. Jelenleg ugyanis nincs egységes ajánlás, ebből adódóan a szakemberek számos esetben az elavult, aktualitását veszített ismeretekre alapozva próbálják kihasználni az új genotípusokban rejlő potenciált.

A szakszerű takarmányozás érdekében fontos pontosan ismerni a gazdasági állataink emésztőrendszerében végbemenő folyamatokat. Olyan vizsgálati eljárások fejlesztését igényli a gyakorlat, melyek gazdasági körülmények között is kivitelezhetőek és gyors, egzakt eredményeket szolgáltatnak az állatok tartási körülményeinek megváltoztatása nélkül. E cél megvalósításának egyik eszköze lehet a jövőben a miográfiás vizsgálatok elterjedése gazdasági haszonállataink pl. a sertésenyésztés és -tartás körében.

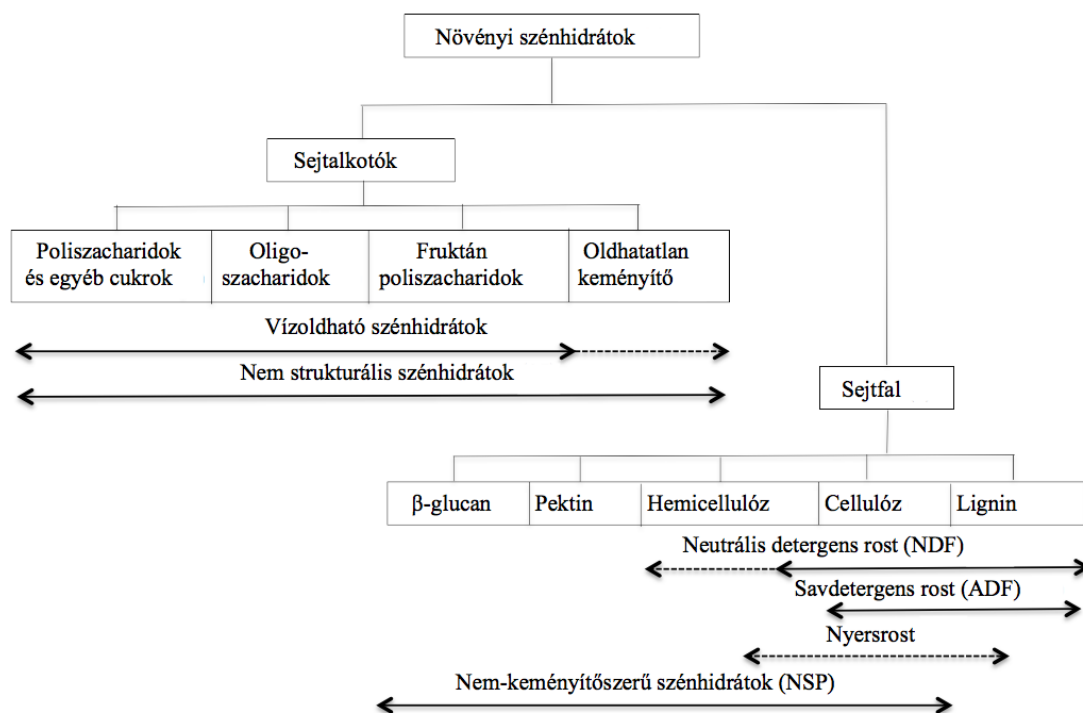
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A rost fogalma, általános jellemzése és csoportosítása a rostmeghatározási módszerek bemutatásán keresztül

A rost fogalma szorosan összefügg az azt meghatározó, rostot alkotó vegyületek vizsgálati módszereivel. Önmagában a nyersrost egy olyan takarmányanalitikai fogalom, amelybe többféle, eltérő kémiai összetételű anyag tartozik. Az újabb meghatározási módoknak köszönhetően, ma már egyre szélesebb körű ismeret áll rendelkezésre a rostot alkotó vegyületekről, így a rost fogalma folyamatosan bővül és pontosabbá válik. Ezen fejezet keretében kívánom ismertetni a rostalkotó vegyületeket és a lehetséges meghatározási módokat, átfogó képet mutatva a rostforrások kémiai sokszínűségéről és ezen vegyületek azonosításának fontosságáról.

A rost fogalmát kémiai, élettani, vagy botanikai szempontból határozhatjuk meg. Kémiai megközelítés szerint a nyersrost híg savban és lúgban való főzés után visszamaradó anyagok összessége. A klasszikus takarmányelemzés (az úgynevezett weende-i analízis) csak a különböző tulajdonságokkal rendelkező csoportok azonosítását teszi lehetővé. Ennek megfelelően megkülönböztethető a két nagy szénhidrátcsoporthoz: a nyersrost és az úgynevezett nitrogénmentes kivonható anyagok csoportja. Az adott anyag nyersrosttartalma a növény híg (1,25%) kénsavoldatban, majd híg (1,25%) kálium-hidroxid-oldatban való roncsolása után visszamaradó szervesanyag-tartalom (*Kakuk és Schmidt, 1988*). A nyersrost ennek megfelelően a különböző típusú és fizikai-kémiai tulajdonságú szénhidrátok aggregátuma. Az N-mentes kivonható anyag magában foglalja a keményítőt, a cukrokat, az oligoszacharidokat, a β -glükánokat, a pektint, a hemicellulóz jelentős részét és egy kis mennyiségű cellulózt is. Ezen összetevők a nyersrost meghatározása során, a savas és a lúgos hidrolízis közben eltávoznak (*Henneberg és Stohmann, 1859*). A roncsolás során a hemicellulóz 90-100%-a, és a cellulóz közel 40% kioldódik. A nyersrost meghatározás-módszerének legnagyobb hiányossága, hogy nem alkalmas a növényi sejtfalat alkotó vegyületek azonosítására. Ebből adódóan a módszer korlátozottan alkalmazható a takarmányok és alapanyagok tényleges rosttartalmának megállapítására. Az egyes rostfrakciók azonosítását *Van Soest és mtsai (1991)* által leírt analitikai eljárás nagyban segítette. Nevezett szerzők elsősorban kérődzők takarmányainak vizsgálatára alkalmas módszert dolgoztak ki, amely eredményesen alkalmazható sertéstakarmányok esetében is. A módszer nemcsak a növényi sejtfal

összetevőinek kvantitatív, hanem kvalitatív meghatározását is lehetővé tette. Az eljárás három fő lépésből áll: (1) semleges detergens oldatban való oldás; (2) főzés savas detergens oldatban; és (3) 72%-os kénsavban történő feltárás. A semleges detergens oldatban való forralással az oldható sejtartalom a mintából extrahálódik, a visszamaradó frakciót neutrális detergens rostnak (NDF: neutral detergent fiber) nevezzük, amely hemicellulózt, cellulózt, lignint és kutint tartalmaz. A savas közegben történő további forralást követően a hemicellulóz eltávolítható, mellyel kinyerhető a savdetergens rostfrakció (ADF: acid detergent fiber). A harmadik lépésben 72%-os kénsavban történő roncsolással eltávolítható a cellulóz, így csak az inkrusztáló anyagok (lignin, kutin, kovásv) maradnak vissza, azonban ezek kémiaiilag nem poliszacharidok (*Bach Knudsen és Jørgensen 2001*). A módszer ezt a vegyületcsoportot sav detergens ligninnek nevezi (ADL: acid detergent lignin) (*1. ábra*).



1. ábra: A növényi szénhidrátok csoportosítása különböző analitikai módszerekre alapozva (NRC, 2012)

Ezzel a módszerrel közelebb juthattunk a rostfrakciókhoz, de a módszer hiányosságaként említhető, hogy a meghatározás pontosságát jelentős mértékben limitálja az NDF frakcióban kötött nitrogén mennyisége, továbbá az NDF keményítő- és tényleges pektintartalma. A módszer további problémája, hogy az NDF nem tartalmazza a nem keményítő poliszacharidok (NSP, non-starch polysaccharides) vízben oldódó részét, és a

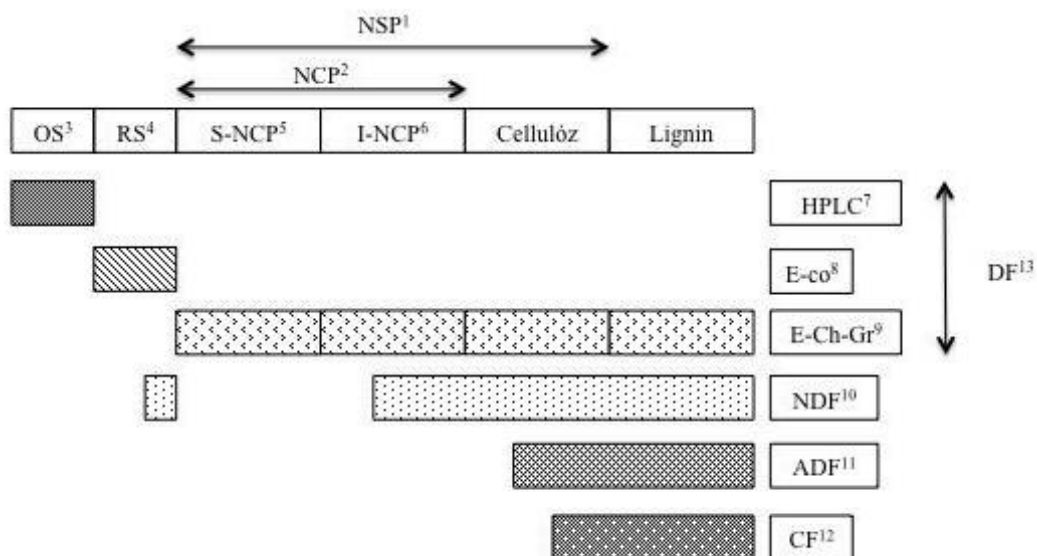
vízben nem oldódó pektint, valamint a fehérje-és keményítőmaradványok is pontatlanságot idéznek elő (*Bach Knudsen, 1997*). Ebből adódóan minél nagyobb az ezzel a módszerrel nem mérhető oldható rost koncentrációja, annál kevésbé becsülhető meg a fermentáció során hasznosuló rostalkotó komponensek pontos mennyisége (*NRC, 2012*).

Az előbbi problémák kiküszöbölésére nyújthat megoldást az élelmiszervizsgálatok során alkalmazott összes „étrendi” rost (TDF: total dietary fiber) meghatározása. A TDF ugyanis alkalmas az oldható (SDF: soluble dietary fiber) és az oldhatatlan (IDF: insoluble dietary fiber) étrendi rost elkülönítésére. Ez a mérési módszer lehetővé teszi a takarmányalapanyagok és a teljes értékű takarmánykeverékek rosttartalmának pontosabb meghatározását, mivel a TDF figyelembe veszi azokat az összetevőket is (pektin, β -glükán és más oldható cukrok), amelyek az NDF frakcióból kimosódnak a Van Soest módszer során (*Asp, 1996; Bach Knudsen, 1997*). Annak ellenére, hogy az élelmiszeriparban elterjedt módszernek számító étrendi rost mérése pontosabb meghatározást biztosít a különböző frakciók (NDF, ADF, ADL) azonosításánál (*Mertens, 2003*), a takarmányiparban nem jelent rutineljárást.

Az „étrendi” rost (DF: dietary fiber) meghatározásakor HPLC (High Performance Liquid Chromatography, nagy teljesítményű folyadék kromatográfia) készülékkel mérhető az oligoszacharidok, enzimatikus kolorimetriás módszerrel pedig a rezisztens keményítő, az NSP és a lignin vegyületek csoportja. Az enzimatikus-kémiai-gravimetriás módszernek köszönhetően szétválasztható az NSP-n belül a cellulóz, és az NCP (Non-cellulosic polysaccharides, nem cellulóz eredetű szénhidrát). Az NCP-t oldhatóság szempontjából is csoportosíthatjuk S-NCP (Soluble-non-cellulosic polysaccharides, oldható nem cellulóz eredetű szénhidrát) és I-NCP (Insoluble-non-cellulosic polysaccharides, oldhatatlan nem cellulóz eredetű szénhidrát) vegyületek csoportjára. Az előbbieken felsorolt módszerekről *Bach Knudsen és Lærke (2018)* adott egy kiváló áttekintést, amit a cikkben található leírás alapján a 2. ábrán összesítettem. Látható, hogy a nyersrost mérésekor a cellulóz egy része és a lignin azonosítható. A Van Soest módszerrel ezen túlmenően már az I-NCP egy részét is meghatározhatjuk. Ugyanakkor egyik módszer sem alkalmas a növényben található NSP és NCP összes mennyiségének meghatározására és a rostalkotó frakciók oldhatóság alapján történő csoportosítására.

A nyersrost mérését a NIRS (Near Infrared Spectroscopy, NIRS) módszer is lehetővé teszi, ami telepi körülmények között is alkalmas eljárást jelent. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a NIRS vizsgálati móddal gyorsan és egyszerűen kapott nyersrost adatok sem adnak

információt a rostot alkotó vegyületekről.



- ¹: NSP: Non-starch polysaccharides, nem keményítő poliszacharidok
- ²: NCP: Non-cellulosic polysaccharides, nem cellulóz eredetű szénhidrát
- ³: OS: Oligosaccharides, oligoszacharidok
- ⁴: RS: Resistant starch, rezisztens keményítő
- ⁵: S-NCP: Soluble non-cellulosic polysaccharides, oldható nem cellulóz eredetű szénhidrát
- ⁶: I-NCP: Insoluble non-cellulosic polysaccharides, oldhatatlan nem cellulóz eredetű szénhidrát
- ⁷: HPLC: High Performance Liquid Chromatography, nagy teljesítményű folyadék kromatográfia
- ⁸: E-Co: Enzymatic-colorimetric, enzimatikus-kolorimetriás módszer
- ⁹: E-Ch-Gr: Enzymatic-chemical-gravimetric, enzimatikus-kémiai-gravimetriás módszer
- ¹⁰: NDF: Neutral Detergent Fiber, neutrális detergens rost
- ¹¹: ADF: Acid Detergent Fiber, sav detergens rost
- ¹²: CF: Crude fiber, nyersrost
- ¹³: DF: Dietary fiber, „étrendi” rost

2. ábra: Az eltérő rostalkotó frakciók meghatározásának különböző analitikai módszerei (Bach Knudsen és Lærke, 2018)

2.2. A különböző rostforrások fermentációja és azok emésztőtraktusra gyakorolt hatása

A növényekben található szénhidrátok az állati szervezet számára elsősorban energiaktárként szolgálnak, de más speciális funkciókat is ellátnak (*Bach Knudsen és Lærke, 2018*). A keményítő és kisebb mértékben a cukropolimerek (például inulin) a növények tartaléktápanyagai, amelyet főleg a magban vagy a gyökérben tárolnak. A N-mentes kivonható anyagok csoportjába tartozó poliszacharidok közül a keményítő a legfontosabb takarmányozás szempontjából. A keményítő amilózból (20-30%) és amilopektinből (70-80%) épül fel amelyek egymással ún. szferikus kristályokat képeznek. A kristályok felépítése, formája az adott növényfajra jellemző. A különböző gabonamagvak keményítő tartalmát a monogasztrikus állatok esetében a bélrendszer enzimeit csak részben tudják megemésztetni. A keményítő lebontása mikrobás fermentáció útján fejeződik be a vakbélben, illetve a remesében. A keményítőt alkotó lánc hő hatására rövidebb lánctöredékekre, dextrinekre bomlik. Ez magyarázza, hogy a gabonamagvak hidrotermikus eljárásokkal történő kezelése a monogasztrikus állatok esetében javítja a keményítő emészthetőségét (*Schmidt, 2003*).

Az abrakot fogyasztó gazdasági haszonállatok, elsősorban a monogasztrikus állatfajok (sertés, baromfi), a napi energiaigényük jelentős részét a takarmánynövények keményítőtartalmából fedezik.

A keményítőtől kívül a szénhidrátok másik nagy csoportját a strukturális szénhidrátok jelentik. Fő képviselői a cellulóz valamint a heteropoliszacharidok (hemicellulóz, pektin) és a kisebb molekulatömegű szénhidrátok (β -glükánok). A strukturális szénhidrátok nagy mennyiségben a növényi szárrészek támasztó szöveteiben és a maghéjban találhatók.

A cellulóz egyenes, nem elágazó lánc, melyben a glükóz egységek β -(1-4)-glikozidos kötéssel kapcsolnak össze, mikrofibrillumok szoros kapcsolatát létrehozva, melyek a sejtfal és sejtalkotók strukturális integritását biztosítják (*Cummings és mtsai, 1997; Englyst és mtsai, 2007*). A szomatikus enzimek nem bontják ezeket a kötéseket, de a sertés vékony- és vastagbélében élő mikrobák fermentálhatják (*NRC, 2012*). Így a cellulóz olyan növényi eredetű strukturális poliszacharid, mely korlátozott mértékben fermentálható szubsztrát a sertés emésztőrendszerében.

A hemicellulóz különböző hexóz és pentóz egységekből felépülő elágazó lánccú szénhidrát (*Cummings és mtsai, 1997*). A leggyakoribb hemicellulóz az egynyári növényekben, gabonamagvakban előforduló xilán, amely a xilóz egységekből felépülő

lineáris vagy elágazó molekula (*BeMiller, 2007*). A hemicellulózt nem bontják endogén enzimek, de a sertés emésztőrendszerében élő baktériumok kismértékben képesek hasznosítani.

A pektin kémiaiailag mintegy 1000 galakturonsavból álló kondenzált polimer, amelyben a galakturonsav monomerek 75%-a metanollal észterezett (*Kakuk és Schmidt, 1988*). A pektin nagy vízmegkötő képességgel, viszkozitással és pufferkapacitással jellemezhető, fermentációja a vastagbélben történik. A pektin lebomlásának elsődleges terméke az ecetsav a monogasztrikus állatok esetében (*Drochner és mtsai, 2004*).

A lignin (fenol-propán származékokból kondenzálódott polimer) nem szénhidrát, de a növényi sejtfalalkotókhoz tartozik, így vizsgálata elengedhetetlen része a rost meghatározásnak (*Lunn és Buttriss, 2007*). A növény érésének előrehaladtával, a lignin beépül a növényi sejtfal poliszacharid mátrixába, és háromdimenziós struktúrát alkot annak alkotóival (*Southgate, 2001*). Ismert, hogy a lignin nem emészthető a gazdasági állatok számára, ráadásul bakteriális úton sem értékesül az emésztőrendszerben, ami egyben a nagy lignintartalmú takarmányokban a táplálóanyagok gyenge emészthetőségét idézi elő (*Southgate, 2001; Wenk, 2001*).

A monogasztrikus állatok nem rendelkeznek saját enzimrendszerrel a különböző struktúrális szénhidrátok lebontásához, azonban az emésztőtraktus utóbél szakaszában élő mikrobióta aktivitása révén ezen szénhidrátok egy része elérhetővé válik. A különböző rostforrások fermentációja monogasztrikus állatokban főleg a vastagbélben zajlik. A rostfrakciók kisebb része a csípőbél előtti bélszakaszban fermentálódik (*Graham és mtsai, 1986; Jorgensen és mtsai, 1996*), nagyobb hányada azonban a vakbélben és a remesebélben. A vékonybélben a rost bontása a különböző frakciók (hemicellulóz, cellulóz, lignin) arányától függ (*Graham és mtsai, 1986*). Az NSP-ben gazdag béltartalom növeli a vízretenciót, továbbá szubsztrátot képez a bélrendszer azon szakaszában, ahol a rostban gazdag táplálóanyagok lassú fermentációja történik a bélbaktériumok által (*Freire és mtsai, 2000*). A bélrendszer mikrobaösszetétele attól függ, hogy milyen típusú emészthetetlen táplálóanyagok jutnak el a vastagbélbe. A bélben élő mikrobapopuláció fermentációs tevékenységének eredményeként illózsírsavak (ecetsav, propionsav, vajsav) keletkeznek (*Roberfroid, 1993; Noblet és Le Goff, 2001*). A fermentáció hatásfoka függ a rostforrás minőségétől, annak összetételétől, oldhatóságától, a jelenlévő nitrogén mennyiségétől, illetve a rendelkezésre álló ásványi anyagoktól és vitaminoktól.

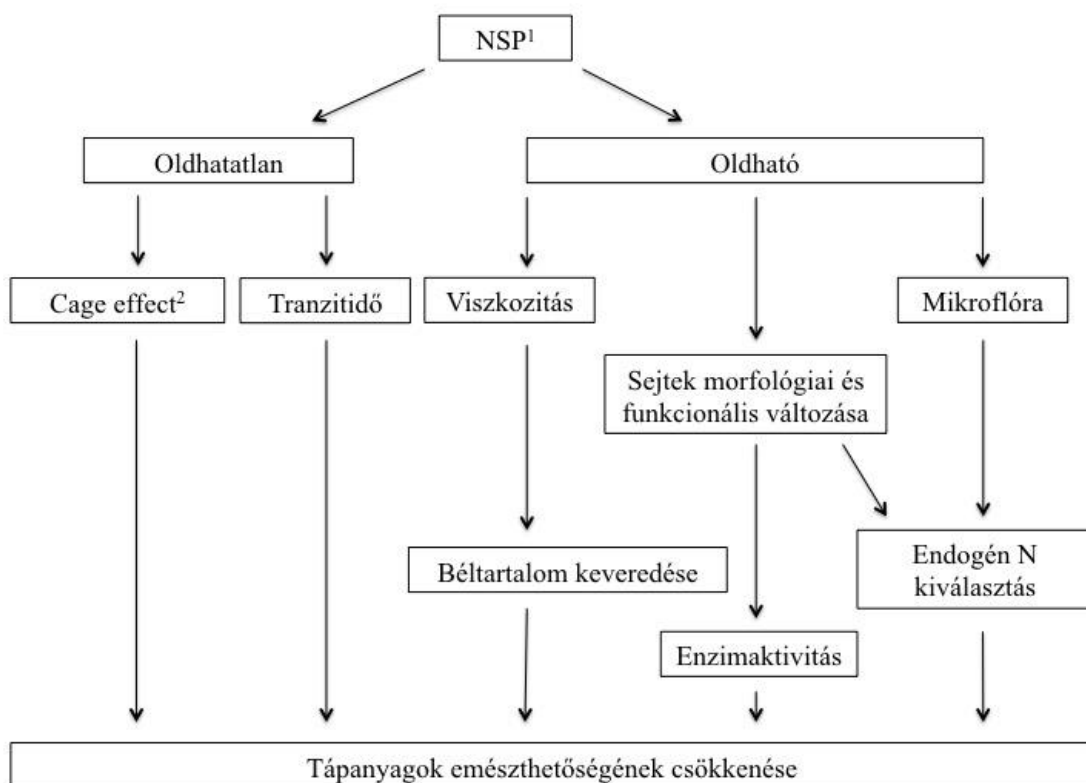
Jørgensen és mtsainak (2007) kutatási eredménye szerint a bélben szintetizálódott illózsírsavak (VFAs: volatile fatty acids) kevesebb, mint 1%-a ürül a bélsárral. Az illózsírsavak közül a propionsav a májban a glikogén fontos szubsztrátja. Az ecetsav nehezen szívódik fel, így csak részben járul hozzá a májban zajló lipogenezishez. A vajsav közvetlenül hatással van a vastagbélben található baktériumtörzsek szaporodására (*Rémésy és mtsai*, 1995). Szabályozza továbbá az epithel sejtek növekedését, serkenti a differenciálódásukat, fokozza a vékonybélben a sejtek apoptózisát (programozott sejthalál, PCD). Növendék sertések esetében a bélhámsejtek burjánzását tapasztalták vajsav jelenlétében. Mindez azt eredményezi, hogy sertésben a béltraktus emésztési és abszorpciós kapacitása nő vajsav jelenlétében (*Claus és mtsai*, 2007).

Molist és mtsai (2009) búzakarpa kiegészítéskor az illó zsírsavak koncentrációjának szignifikáns növekedését tapasztalták a vastagbélben, a választást követő 10. és 15. nap közötti időszakban (rostforrás nélküli kontroll VFA: 96 $\mu\text{mol/g}$ szárazanyag vs. 80 g/kg búzakarpat tartalmazó kísérleti takarmány VFA: 252 $\mu\text{mol/g}$ szárazanyag). Az előbb említett szerzők szerint javasolt a választott malacok takarmányában a gyengén vagy nehezen fermentálható rostforrások beillesztése a bélben élő mikrobák elszaporodásához. Abban az esetben, ha a malacok emésztőrendszere alkalmazkodott a takarmányadagban szereplő rostforráshoz, a jótékony hatású mikrobák szaporodása megindul, így az illózsírsavak képződése is fokozódik.

Újabb kutatások szintén alátámasztják azt a tényt, hogy sertésben a különböző rostforrások hatással vannak a bélcsatorna baktériumtörzseire és az illózsírsavak szintézisére (*Zhao és mtsai*, 2018). Ugyanakkor a fermentáció során keletkező vegyületek mennyisége eltérő a bél egyes szakaszaiban. Különböző rostforrások (kukoricakorpa, búzakarpa, zabkorpa, szójahéj, cukorrépa-pellet és rizskorpa) etetésekor azt tapasztalták, hogy a tejsav a vékonybél első szakaszában keletkezik, míg a vajsav a vastagbélben. További megállapításuk volt, hogy a vajsav bélbeli koncentrációja pozitív korrelációban van a takarmány ADF- és cellulóztartalmával.

Bretensky és mtsai (2017) eredményei szerint is a tejsav a fő fermentációs termék a vékonybélben az ecetsav a vakbélben és a bélsárban fordult elő nagyobb mennyiségben. A tejsavat a vakbélben élő baktériumok átalakítják és ecetsav, propionsav valamint vajsav képződik belőle. Ezen kívül kísérletükben azt tapasztalták, hogy az illózsírsavak döntő többsége a vastagbélben felszívódik, mivel kisebb mennyiségben fordultak elő ezen bélszakaszban, mint a vakbélben.

Régóta ismert tény, hogy a takarmány rosttartalma hatással van az emésztőtraktusban zajló folyamatokra, így a bélperisztaltikára is. A rostforrás oldhatósága jelentősen befolyásolja az egyes emésztési folyamatok hatásmechanizmusát (3. ábra). Az oldhatatlan rostok, amelyek elsősorban a sejtfal NSP komponensei körbezárják a sejten belüli anyagokat, ezzel gátolják az emésztőenzimek hozzáférhetőségét.



¹: NSP: Non-starch polysaccharides, nem keményítő poliszacharidok

²: Cage effect - ketrec hatás

3. ábra: NSP (nem keményítő poliszacharidok) hatásmechanizmusa (Halas és Babinszky, 2014)

Ezt a folyamatot “cage effect”-ként kifejezéssel illeti a külföldi irodalom. A folyamat lényege, hogy a sejtfalban lévő oldhatatlan NSP csökkenti a fehérje és az aminosavak emészthetőségét, mivel megakadályozza az enzimek hozzáférését a molekulákhoz. Ezt a gátló hatást exogén-eredetű enzimkiegészítéssel – NSP-bontó enzim adagolásával – megszüntethetjük. A takarmányt alkotó különböző komponensek eltérő hatást gyakorolnak a felvett táplálék emésztőtraktusban töltött idejére (tranzit idő), illetve annak haladási sebességére (passzázs). Az oldhatatlan rostforrások (hemicellulóz, cellulóz) csökkentik a takarmány bélbeli tartózkodási idejét (Wilfart és mtsai, 2007). Kesting és mtsai (1991) a tranzit idő csökkenését csak a vastagbélben tapasztalták, más szerzők (van Leeuwen és mtsai, 2006) szerint a takarmány oldhatatlan rosttartalma az ileumban nem idézett elő változást.

Több kísérletben is kimutatták, hogy a fehérje és az aminosavak ileális emészthetősége nem változott, ha oldhatatlan rostban gazdag komponenst adtak a takarmányhoz (33% búzakorpa-*Graham és mtsai*, 1986; 13,5% búzaszalma-*Renteria Flores*, 2003; 20% búzakorpa-*Wilfart és mtsai*, 2007).

A bakteriális fermentáció hatékonyságát, így a vastagbélben képződő illózsírsavak felszívódását alapvetően befolyásolja a vastagbélben lévő béltartalom tartózkodási ideje. Így a takarmányok oldhatatlan rosttartalmának növelésével csökken annak emészthető energiataralma (*Wilfart és mtsai*, 2007). A vastagbélen való gyors áthaladás további következménye, hogy az oldhatatlan rostot tartalmazó takarmányok etetésekor csökken (kevesebb idő áll rendelkezésre) a vastagbélben a víz reabszorpció, ami hígabb bélsár ürítését idézi elő (*Graham és mtsai*, 1986).

Az oldható rostforrások bélbeli hatása teljesen különbözik az oldhatatlan rosttól. Oldható rostot (β -glükánok, pentozánok, pektinek) tartalmazó takarmány fogyasztása esetén a béltartalom viszkozitása nő (*Mosenthin és mtsai*, 2001; *Noblet és Le Goff* 2001). A nagyobb viszkozitású béltartalom befolyásolja az emésztőrendszerben lévő sejtek proliferációját is. Ez az emésztőtraktust alkotó sejtek morfológiai és strukturális változását idézi elő (*Ikegami és mtsai*, 1990; *Simon*, 2001). Az oldható rostforrások csökkentik a bélösszehúzóerőket és a gyomorban a nagyobb viszkozitás lassítja a táplálék átjutását a vékonybélbe (*Cherbut és mtsai*, 1990). Ez azonban nem kedvez az emésztési folyamatoknak, a vékonybélben történő áthaladás során a gyomortartalomban lévő víz egy része „hidratáló gömböt” képez a béltartalom körül a csökkent bélperisztaltika miatt, ami nehezíti az emésztőenzimek keveredését a táplálékkal (*Simon*, 1991). Az oldható NSP tartalmú alapanyagok etetése növeli a takarmány bélrendszerben való tartózkodási idejét, ezáltal a gyomortartalom lassabban ürül, így csökken a takarmányfelvétel (*Van der Kils és Van Voorst*, 1993).

Számos irodalmi adat szerint a takarmány nagy rosttartalma növeli az endogén fehérje kiválasztását (*Schulze és mtsai*, 1994; *Leterme és mtsai*, 1996; *Nyachoi és mtsai*, 1997; *Soufrant*, 2001) illetve a bél epitéliumának megújulását (*Varel és Yen*, 1997). A rost fermentációja fokozza a bélben élő baktériumok szaporodását, ennek következtében nagyobb a bélsárral ürülő fehérje mennyisége és így kisebb a nyersfehérje látszólagos emészthetősége. *Pirman és mtsai* (2007) kutatásukban megfigyelték, hogy a takarmány nyersrosttartalmának növelésével, a béltraktus egyes szakaszaiban a mikrobiális fehérjeszintézis szignifikánsan nőtt.

Szójahéj, illetve szárított répaszelet etetésekor a fehérje látszólagos emészthetősége csökkent szójahéj esetén 85%-ról 80%-ra, répaszelet alkalmazásakor pedig 74%-ra (85% vs. 74%) (*Zervas és Zijlstra, 2002*). *Huisman és mtsai (1985)* eltérő rostforrás hatását vizsgálták a nyersfehérje és az aminosavak ileális emészthetőségére malacokban. Eredményeik szerint az 50 g/kg mennyiségben etetett pektin illetve cellulóz nem befolyásolta a nyersfehérje ileális emészthetőségét. Ezzel szemben 50 g/kg szalma szignifikánsan csökkentette a fehérje ileális emészthetőségét. Az endogén fehérje kiválasztás mértéke azonban számos irodalom szerint függ a rostforrás oldhatóságától. *Libao-Mercado és mtsai (2006)* 6% pektintartalom mellett 50%-os exkrécióról számoltak be. A vizsgálatban mért fehérje jelentős treonintartalommal rendelkezett, ami azt jelzi, hogy az endogén fehérje jelentős része az epithel sejtek kopásából származik. A nagyobb rosttartalmú takarmány etetésekor megfigyelt fokozódó endogénfehérje-kiválasztás nem jelent minden esetben negatív hatást. A rostkiegészítés ugyanis növeli a bélbeli védelmi rendszerhez tartozó mucin szekrécióját. Az oldható rostforrások nemcsak az epithel sejtek kopását és a mucin képződését növelik, hanem korlátozzák az endogén anyagok reabszorcióját is (*Mosenthin és mtsai, 1994; Nyachoti és mtsai, 1997; Grala és mtsai, 1998*).

2.3. Különböző rosttartalmú takarmányalapanyagok illetve melléktermékek felhasználhatósága a növendék sertések takarmányozásában

Fiatal egyedeknél, így malacok esetében is a választást követő időszakban, korlátozott a táplálóanyagok emészthetősége az enzimek hiányos volta miatt. További korlátozó tényezőt jelentenek emésztés-élettani szempontból az emésztőtraktus fizikai paraméterei. A különböző életkorú sertések rostbontó képessége közötti különbség egyik oka, hogy az életkor előrehaladtával nő az emésztőtraktus térfogata, ennél fogva nagyobb bélfelület áll rendelkezésre a bélfloórát alkotó baktériumtörzsek számára, így azok száma szintén nő. *Pekas (1991)* vizsgálatában 270 kg testtömegű sertés esetében 7,5 m vastagbél hosszúságot mért, összehasonlítva egy fiatalabb 70 kg tömegű (5,4 m) és egy 30 kg-os sertés (4,3 m) vastagbél hosszúságával. Az emésztőtraktus térfogatának és hosszának növekedése a tranzit idő hosszának növekedését is eredményezi (*Dierick és mtsai, 1989; Noblet és Shi, 1993a; Varel és Yen, 1997*). A takarmánykomponensek emészthetősége szempontjából nagy jelentőségű az emésztőrendszer szerveinek mérete, és az emésztőenzimek retenciós ideje (*Wenk, 2001*). Az idősebb egyedek fejlettebb és hosszabb emésztőtraktussal rendelkeznek, relatíve kisebb a takarmányfelvétel (kg/testtömeg kg), lassúbb a béltartalom továbbhaladása, valamint a vastagbélben nagyobb a celluláz aktivitás, mint a fiatal egyedekben (*Shi és Noblet, 1993*).

Ennek következtében az idősebb sertések, különösen a kocák, összehasonlítva a növendék sertésekkel, nagyobb rostemésztési kapacitással rendelkeznek (*Jørgensen és mtsai, 2007*). Választott malacokban a kor alapvetően meghatározza az emésztőrendszer fejlettségét és az egyes táplálóanyagok emészthetőségét. Az NDF lebontása a választást követő 5. héten nagyobb, mint választást követő 3. héten (*Ivarsson és mtsai, 2011*). A nyersrost emészthetősége szorosan összefügg az egyed kora mellett annak élősúlyával is. Növendék sertésekben a nyersrost emészthetősége az élősúly növekedésével fokozatosan javul (*Fernandez és mtsai, 1986*).

A nagy teljesítményű hibridek térnyerése tapasztalható a sertéságazatban az utóbbi évtizedek tenyésztő munkájának eredményeként. Ezen intenzív növekedésű hibridek olyan nagyműltű sertéstartó országokból származnak, ahol meglehetősen sok mellékterméket használnak a keveréktakarmányokban a szűk gabonaalapanyag-forrás miatt (pl. Dánia, Hollandia, Norvégia). Továbbá az egyre intenzívebbé váló bioüzemanyag gyártás növekvő gabonaigénye is korlátozza ezen alapanyagok sertés takarmányozásban történő felhasználását (*Wenk, 2001; Metzler és Mosenthin, 2008*). Alkalmazásuk kedvező, hiszen a kiindulásként szolgáló alapanyagoknál nagyobb nyersfehérje-tartalommal rendelkeznek, így jól beilleszthetők a gazdasági állataink takarmányozásába. Ugyanakkor, felhasználhatóságukat korlátozhatja többnyire jelentős rosttartalmuk, illetve esetenként változó táplálóanyagösszetételük (*Zijlstra és Beltranena, 2013*). Mivel a melléktermékek általában jóval nagyobb rosttartalommal rendelkeznek így a tenyésztő munka eredményeként a szelekció azon állatoknak kedvezett, amelyek emésztőcsatornája adaptálódott a nagy rosttartalmú takarmánykeverékekhez. A kimagasló teljesítményre képes hibridek emésztőrendszerének morfológiai felépítése megváltozott: a vakbél és a vastagbél jóval nagyobb méretű a hagyományos genotípusokhoz képest. Ezen hibridek a melléktermékeket tartalmazó, nagy rosttartalmú takarmányok etetésekor is hatékony termelésre képesek. Ennek oka, hogy a megnövekedett bélfelületen a nagyobb mennyiségű mikrobapopuláció hatékonyabb mikrobiális fermentációra és így intenzívebb illózsírsav-szintézisre képes. Az említett indirekt szelekciós nyomás jelentős mértékben hozzájárult ahhoz, hogy a hazai gyakorlatnál lényegesen nagyobb nyersrosttartalmú takarmányok is eredményesen használhatók az intenzív sertésállományokban. Számos tanulmány kimutatta, hogy az emésztőtraktus tömege, térfogata és kapacitása párhuzamosan nő a takarmány nagyobb fermentálható rosttartalmával (*Southgate, 1990; Hansen és mtsai, 1992; De Lange és mtsai, 2006, 2010; D'Eath és mtsai, 2009; Doppenberg és van der Aar, 2015*).

A sertések rostemésztésének rövid áttekintése után érdemes azt is elemezni milyen eredetű és mennyiségű rostforrások találhatóak a takarmányozásukban használt alapanyagokban illetve melléktermékekben. A gabonamagvak és a belőlük készült melléktermékek a sertések számára a legfontosabb energiaforrások, de fontos megvizsgálni, hogy miből áll, mik alkotják az egyes takarmányokban a N-mentes kivonható anyagot. Ennek összetétele és az egyes kémiai csoportok mennyisége ugyanis nagyon eltérő lehet. A gabonafélék nagy arányban nem-keményítő eredetű szénhidrátokat tartalmaznak (arabinoxilán, β -glükán, cellulóz) és lignint (*Bach Knudsen*, 2014). A pektin a rosttartalmat még tovább növeli a gabonafélék esetében (*Choct*, 1997). A rost fermentációja függ az adott rostalkotó kémiai alkotóelemeitől, és azok arányától. A rozs, a búza, a kukorica és a cirok gazdag arabinoxilánban, míg az árpáról és a zabról ismert azok magas β -glükán-tartalma. A kérdést tovább bonyolítja, hogy ezen rostforrások oldhatósága eltérő: jelentős a rozsban található arabinoxilán, és az árpa vagy zab β -glükán-tartalmának oldhatósága, a kukorica vagy a cirok arabinoxilán-tartalma kevésbé oldható, mint más gabonák rosttartalma (*Bach Knudsen*, 2014).

Malacokban számos, eltérő rosttartalmú takarmány hatását vizsgálták. Választást követően a nem oldható rostforrást nagyobb mennyiségben tartalmazó takarmányok közül a lucernaliszt (*Freire és mtsai*, 2000), az árpakorpa (*Hedemann és Bach Knudsen*, 2007; *Gerritsen és mtsai*, 2012), a zabkorpa (*Bach Knudsen és mtsai*, 1993; *Mateos és mtsai*, 2006; *Kim és mtsai*, 2008), a gabonakorpa (*Freire és mtsai*, 2000; *Högberg és Lindberg*, 2006; *Carneiro és mtsai*, 2007; *Molist és mtsai*, 2009; 2010; 2011), a szalma (*Gerritsen és mtsai*, 2012) és a tisztított cellulóz (*Fonseca és mtsai*, 2012) etetéséről számol be az irodalom. A répaszelet (*Freire és mtsai*, 2000; *Bikker és mtsai*, 2006; *Molist és mtsai*, 2009; *Montagne és mtsai*, 2012), a citrustörköly (*Fonseca és mtsai*, 2012), az árpagyöngy (*Hopwood és mtsai*, 2004) etetésekor megállapították, hogy mint oldható rostforrások értékes alkotók lehetnek a malacok takarmányozásában. A szójahéj nem csak oldhatatlan NSP anyagokban gazdag, hanem jelentős mennyiségű fermentálható oligoszacharidoat és oldható NSP-t is tartalmaz (*Rooke és mtsai*, 1998). A hüvelyesek közül vizsgálták még a csillagfürt- és a borsóhéj különböző arányú felhasználását (7,5%; 15%; 22,5% és 30%) (*Stanogias és Pearce*, 1985, a,b). *Chabeauti és mtsai* (1991) növendék sertésekkel végzett kutatásukban megállapították, hogy széles határok között változott a nem-keményítő eredetű szénhidrátok az NSP fermentálhatósága az etetett rostforrások szerint: búzaszalma esetében 16,3%, búzakorpánál 43,5%, cukorrépa törkölynél 69,5% illetve szójahéjénél 79,1%. A lignintartalommal hozható kapcsolatba a búzaszalma etetésekor megfigyelt rossz fermentációs képesség. A cukorrépa

törköly illetve a szójahéj nagy pektintartalma ugyanakkor kiváló fermentációs képességgel rendelkezik (*Karr-Lilienthal és mtsai, 2005*).

Mindezek alapján látható, hogy takarmányozás útján, megfelelő alapanyagok felhasználásával, ideértve az NSP-ben gazdag rostforrásokat, kialakítható olyan bélflóra választott korban és azt követően, mely támogatja a hasznos bélbaktériumok szaporodását. Ez a bélflóra fenntartható rostban gazdag takarmányozással növendék korban. *Wellock és mtsai (2007)* véleménye szerint azon rostforrások használata ajánlott a malacok és később a növendék sertések takarmányában, melyek nem növelik a béltartalom viszkozitását, viszont hozzájárulnak az egészséges bélflóra kialakításához.

2.3.1. A különböző rostforrások hatása a növendék sertések termelési mutatóira

A különböző rostforrások élettani hatását és emészthetőségét nehéz meghatározni monomer összetételük alapján. A pontosabb minősítésükhöz elengedhetetlen az emészthető illetve nettó energiatartalmuk, az oldhatóságuk, viszkozitásuk, fizikai szerkezetük és vízmegkötő képességük vizsgálata (*Asp, 1996*). Az összetevők fizikai-kémiai tulajdonságainak ismerete meghatározza hatékony felhasználásukat és tápértéküket a monogasztrikus állatok takarmányozásában. Az oldhatatlan rostalkotókkal összehasonlítva az oldható rostforrások gyorsabban fermentálódnak, nagyobb mennyiségű illózsírsav keletkezik, illetve hatékony támogatói a bélben élő mikrobapopuláció szaporodásának (*Jha és Berrocso, 2015*).

A takarmánykeverékek kialakításánál meghatározó a felhasznált alapanyagok nyersrosttartalmán túl az egyes rostfrakciók mennyiségének ismerete és azok emészthetőségének meghatározása. Hazánkban nincs rostfrakcióra lebontott ajánlás a különböző sertés korcsoportok részére. A jelenleg rendelkezésre álló ajánlásban (*Magyar Takarmánykódex, 2004*) a sertések genotípusa szerint találunk javaslatot a keveréktakarmányok táplálóanyagtartalmára és így a nyersrostra vonatkozóan. A genotípus általi csoportosítás („A”: hibridek, és más nagy teljesítményre képes keresztezések, „B”: tisztavérűek és keresztezéseik) a növendék sertés (Hízó I.) korcsoportban (30-70 kg) nem tesz különbséget az ajánlott nyersrosttartalmat (g/kg) illetően („A”: 35 g/kg, „B”: 35 g/kg), továbbá minimum és maximum értéket sem jelöl metabolizálható (ME_s), illetve emészthető (DE_s) energiaértékelési rendszer esetén. Az újabb külföldi ajánlások az ajánlott energiaérték biztosítása mellett nem jelölnék meg felső határt a takarmánykeverék nyersrosttartalmára (*General Nutrition's for Swine, 2007; CVB Feed Table, 2016; SEGES, 2016; 2020*). Így a

nagy nyersrosttartalmú komponensek, mint a melléktermékek is, szinte korlátozás nélkül a receptúrákba kerülhetnek. Más ajánlások a nagyobb rosttartalmú alapanyagok, illetve melléktermékek felhasználásakor azok energiaértékét a kukoricához viszonyítva határozzák meg (*Kansas State University*, 2007), és ennek megfelelően javasolnak a különböző korcsoportok számára maximálisan bekeverhető mennyiséget. A hazai ajánlások a nyersrost-tartalmat jelölik, nem adnak tájékoztatást az ideális NDF, ADF, NSP mennyiségről és azok arányáról. Németországban malacoknak 3–4%, hízósertéseknek 4–6% és kocák esetében 7–8% nyersrostot javasolnak (*DLG*, 2008). A *Magyar Takarmánykódex* (2004) a takarmány nyersrosttartalmára malacoknál 2,5-3,5%, növendék és hízósertéseknél 3-4%, vemhes és szoptató kocáknál 5,5% értéket ad meg.

Régóta ismert, hogy a takarmányadag nagyobb rosttartalma növendék és hízó sertésekben egyaránt hatással van a termelési mutatókra és teljesítményre: a napi takarmányfelvételre, a napi súlygyarapodásra és a takarmányértékesítésre. A rostban gazdag takarmány-alapanyag jellemzői közül fontos annak emészthető energiatartalma, az emésztőtraktust kitöltő hatása (terime), az ADF- és NDF-tartalma illetve a vízmegkötő képessége. Ezen tulajdonságok alapvetően meghatározzák a takarmányfelvétel gyakoriságát és mértékét, így az állat fejlődését, súlygyarapodását.

A szeszipari száraz gabonamag oldható anyagokkal (DDGS) értékes energiaforrás, hiszen emészthető (DE) és metabolizálható (ME) energiatartalma azonos a kukoricáéval, rosttartalmaviszont háromszor nagyobb: ADF- (9,9%), NDF- (25,3%) és összes „étrendi” rosttartalom (42,1%) (*Stein és Shourson*, 2009).

Nem változott növendék- és hízósertések teljesítménye kukorica-szójadara alapú keveréktakarmányok 20%-os DDGS-kiegészítésekor, 40%-nál azonban már termelési depressziót tapasztaltak (*Cromwell és mtsai*, 2011). Hasonló eredményt figyeltek meg növendéksertésekkel (50-76 kg között) végzett kísérletben 15% DDGS-kiegészítés (*Linneen és mtsai*, 2008) esetén: nem csökkent a takarmányfelvétel (g/nap), a napi átlagos súlygyarapodás (g/nap) és nem változott a takarmányértékesítés sem (kg/kg). Szintén növendéksertésekkel végzett kísérletben (30-60 kg) 5 és 10% DDGS-kiegészítés (*Gralapp és mtsai*, 2002) illetve 88 és 105 kg élősúly között 19% DDGS-kiegészítés (*Jenkin és mtsai*, 2007) esetén sem tapasztaltak gyengébb termelési mutatókat a mellékterméket nem tartalmazó kontrolltakarmányt fogyasztó egyedek termeléséhez képest. Több vizsgálatban (*McEwen*, 2006, 2008; *Augsburger és mtsai*, 2008; *Drescher és mtsai*, 2008; *Duttlinger és mtsai*, 2008; *Widmer és mtsai*, 2008) is 20%-ot jelöltek meg a DDGS-kiegészítés felső

határaként. Más szerzők (*Cook és mtsai, 2005; DeDecker és mtsai, 2005; Xu és mtsai, 2007a,b*) eredménye szerint akár 30% DDGS-kiegészítésig is el lehet menni teljesítményromlás nélkül. *Gutierrez és mtsai (2014)* kanulözött sertésekben széleskörű emésztés-életteni vizsgálatot végeztek 9 kukorica melléktermék (kukoricakorpa oldható anyagokkal, kukoricakorpa, hőkezelt kukorica DDGS, csökkentett olajtartalmú DDGS, hőkezeletlen DDGS, nagy fehérjetartalmú DDG, hántolt csíramentes kukorica, extrahált kukoricacsíra és kukoricaglutén) ideális bekeverési arányának megállapítására. A kutatás célja az volt, hogy az általuk használt 9 kukorica melléktermék 30%-os arányban való szerepeltetésével a hagyományos szója-kukorica alapú takarmányban (70%) meg tudják becsülni az adott melléktermék energiaértékét és hatását az energia, nyersrost és aminosavak emészthetőségre. Eredményeik szerint a kukorica és a belőle készült melléktermékeknél az NSP-k közül a glükóz polimerek és a xilóz fordulnak elő a legnagyobb mennyiségben, melyek cellulóz és arabinoxilán formájában vannak jelen (*Bach Knudsen, 2001*). Mivel a kukorica sejtfalában a cellulóz található meg legnagyobb arányban, így az NDF látszólagos emészthetőségét vizsgálva célszerű a cellulózfrakció pontos arányának és az emészthetőségre gyakorolt hatásának meghatározása. Eredményeik alapján a különböző kukorica melléktermékekben az arabinoxilán és az NSP xilóztartalomból lehet a legjobban megbecsülni az adott melléktermék emészthető és metabolizálható energiaértékét és hatását az energia és a nyersrost emészthetőségére.

Búza-DDGS etetésekor megállapították, hogy 25% búza-DDGS-kiegészítés 52-85 kg élősúly között nem befolyásolta negatívan a napi súlygyarapodást és a takarmányértékesítést a búza és borsó alapú kontrolltakarmányhoz képest (*Widyaratne és Zijlstra, 2008*). Ugyanakkor a búza és szójadara alapú kontroll takarmányt fogyasztó egyedeknél 20 és 51 kg között az 5, 10, 15, 20 és 25% búza-DDGS-kiegészítés lineárisan csökkentette a napi súlygyarapodást és a napi takarmányfelvételt, viszont nem változott a takarmányértékesítés. A búza-DDGS-kiegészítés mennyiségének növelése 3, 6, 9, 12 és 15%-ra a befejező fázisban (52-113 kg) már nem okozott termelésbeli különbséget a kontroll takarmánykeveréket és a búza-DDGS-kiegészítést fogyasztó egyedek között (*Thacker, 2006*). Kukorica-DDGS-t önállóan illetve búzatakarmányliszttel együtt etetve csökkent a növendék sertések súlygyarapodása valamint a hízalás végén kisebb volt a hasított test tömege (*Asmus és mtsai, 2014; Salyer és mtsai, 2012*).

Wate és mtsai (2014) kukorica melléktermékekkel végzett hízalási kísérletet. Megállapították, hogy a takarmányban a kukoricacsutkaliszt arányának (80, 160, 240, 320

g/kg) növelésével párhuzamosan nőtt a takarmányfelvétel. 400 g/kg mennyiségben azonban már csökkent a takarmányfelvétel, illetve a súlygyarapodás is. A kutatás eredményei szerint 236 g ADF/kg szárazanyagtartalom felett szignifikánsan csökken a súlygyarapodás, azonban ez nem minden esetben párosul kisebb takarmányfelvétellel (*1. táblázat*).

1. táblázat: Különböző rostforrások hatása a növendék és hízó sertések termelési mutatóira, a táplálóanyagok emészhetőségére és az illó zsírsavak szintézisére

Rostforrás	Kontroll takarmány	Kieg (%)	NDF ¹ (g/kg)	ADF ² (g/kg)	Napi takarmányfelvétel (kg/nap)	Napi súlygyarapodás (g/nap)	Takarmány-értékesítés (kg/kg)	Látszólagos emészhetőség ATTD ³ (%)	Összes illó zsírsav Total VFA ⁴ (mmol/nap)	Energia-rendszer (MJ/kg)	Genotípus	Testtömeg (kg)/kor (nap)	p ⁵	Szerzők
Oldószerrel extrahált repcedara	kukorica, szója	0-20	-	3,7-5,9	=	=	=	↓ GE ⁶	-	NE ⁷	-	-	ns	Zijlstra és mtsai, 2014
Hidegen sajtolt repcedara	kukorica, szója	0-20	-	3,3-6,0	=	=	=	↓ GE	-	NE	-	-	ns	Zijlstra és mtsai, 2014
Repedara	kukorica, szója	0-24	-	3,4-4,9	↑	↓	↓	↓ GE	-	NE	-	-	ns	Zijlstra és mtsai, 2014
Extrudált lenmag, borsó, kukorica DDGS	növekvő melléktermék	2-50	14,3 -19,5	-	↑	=	↓	-	-	NE 8,37	Duroc x F1 (Nagyfehér x Lapály)	35,3±0,4 kg	ns	Jha és mtsai, 2013
Extrudált lenmag, borsó, kukorica DDGS	növekvő melléktermék	2-50	5,8 -24,1	-	=	=	↓	-	-	NE 8,37	Duroc x F1 (Nagyfehér x Lapály)	72,4±0,8 kg	ns	Jha és mtsai, 2013
Kukorica rost	kukorica, szója	10-30	6,9	1,6	↓*	=	↓*	-	↑ ileális és cekális	GE 15,78-15,48	Duroc × Lapály × Yorkshire	30-160 nap	*	Chen és mtsai, 2014
Szója rost	kukorica, szója	10-30	4,7	1,5	↓*	=	↓*	-	↑ ileális és cekális	GE 15,78-15,48	Duroc × Lapály × Yorkshire	30-160 nap	*	Chen és mtsai, 2014
Búzakorpa	kukorica, szója	10-30	6,8	2,1	↓*	=	↓*	-	↓ ileális és cekális	GE 15,78-15,48	Duroc × Lapály × Yorkshire	30-160 nap	*	Chen és mtsai, 2014
Borsó	kukorica, szója	10-30	4,8	3,0	↓*	=	↓*	-	↑ ileális és cekális	GE 15,78-15,48	Duroc × Lapály × Yorkshire	30-160 nap	*	Chen és mtsai, 2014
Szójahéj	kukorica, szója	10	-	-	↑	↑	↓	-	-	-	PIC ⁸	28,6±0,6-115±0,3 kg	ns	Shriver és mtsai, 2003

Alacsony olajtartalmú kukorica DDGS (59g/kg EE)	kukorica, szója	40	12,5-14,1	4,3-5,5	↓*	↓*	↑*	-	-	ME ⁹ 12,55	-	25,8±5,1-120 kg	*	Wu és mtsai, 2016
Közepes olajtartalmú kukorica DDGS (9,9 g/kg EE)	kukorica, szója	40	13,2-14,2	5,8-6,0	↓*	↓*	↑*	-	-	ME 12,55	-	25,8±5,1-120 kg	*	Wu és mtsai, 2016
Magas olajtartalmú kukorica DDGS (14,2 g/kg EE)	kukorica, szója	40	15,4-17,0	8,5-9,0	↓*	↓*	↑*	-	-	ME 12,55	-	25,8±5,1-120 kg	*	Wu és mtsai, 2016
Szárított répaszelet	árpa, búza, szója	20	18,6	8,0	↑*	↑*	↓*	↓ Sza ¹⁰ ; ↑* NDF; ↑ ADF	↑ colon*	ME 14,24	Schwaebisch Haellisches Schwein ¹¹	33,9±3,7 kg	*	von Heimendal és mtsai,
Szárított répaszelet	árpa, búza, szója	20	18,6	7,9	↑*	↑*	↑*	↓ Sza; ↑* NDF; ↑ ADF	↑ colon*	ME 14,24	Bunte Bentheimer ¹²	33,9±3,7 kg	*	von Heimendal és mtsai,
Szárított répaszelet	árpa, búza, szója	20	18,6	7,9	↑*	↑*	↑*	↓ Sza; ↑* NDF; ↑ ADF	↑ colon*	ME 14,24	Keresztezett	33,9±3,7 kg	*	von Heimendal és mtsai,
Kukorica DDGS (20%), szójahéj (10%) + SD CMC 3f humán rostfermentáló	kukorica, szója	30	19,5	-	↓	↑*	↑*	↑ Sza; ↑ NDF; ↑* ADF	-	ME 12,55	PIC	61,1±2,3 kg	*	Ziemer és mtsai, 2012
Kukorica DDGS (20%), szójahéj (10%) + RF Cell 1b2 humán rostfermentáló	kukorica, szója	30	19,5	-	↑	↓*	↓*	↑ Sza; ↑ NDF; ↑* ADF	-	ME 12,55	PIC	61,1±2,3 kg	*	Ziemer és mtsai, 2012
Kukorica DDGS (20%), szójahéj (10%) + SD CC 2c humán rostfermentáló	kukorica, szója	30	19,5	-	↓	↑*	↑*	↑ Sza; ↑ NDF; ↑* ADF	-	ME 12,55	PIC	61,1±2,3 kg	*	Ziemer és mtsai, 2012
Kukorica DDGS	kukorica, szója	30	14,9	-	=	=	=	-	-	ME 12,55	-	25,87±0,38 kg	ns	Moran és mtsai, 2016
Búza melléktermék	kukorica, szója	30	16,5	-	=	=	=	-	-	ME 12,55	-	25,87±0,38 kg	ns	Moran és mtsai, 2016
Szójahéj	-	12	-	-	-	=	=	-	-	ME 12,55	(Lapály x Nagyfehér) x Duroc	64,3±0,2 kg	ns	Chee és mtsai, 2005

Búzakorpa	-	12	-	-	-	=	=	-	-	ME 12,55	(Lapály x Nagyfehér) x Duroc	64,3±0,2 kg	ns	Chee és mtsai, 2005
Hidegen sajtolt repcedara	növekvő melléktermék	7,5-22,5	-	-	↓	↓	↓	-	-	NE 8,37	Duroc x F1 (Nagyfehér x Lapály)	22,6±1,3 kg	ns	Seneviratne és mtsai, 2010
Guargumi	kukorica, szója	7	-	-	↓	↓	↑	↑ GE; ↓ DE	-	GE 16,74	Camborough -22×65, PIC	27,0±1,2 kg	ns	Owusu-Asiedu és mtsai, 2006
Cellulóz	kukorica, szója	7	-	-	↓	↓	↑	↓ GE; ↓ DE	-	GE 16,74	Camborough -22×65, PIC	27,0±1,2 kg	ns	Owusu-Asiedu és mtsai, 2006
Guar gumi + cellulóz	kukorica, szója	14 (7-7)	-	-	↓	↓	↑	↓ GE; ↓ DE	-	GE 16,74	Camborough -22×65, PIC	27,0±1,2 kg	ns	Owusu-Asiedu és mtsai, 2006
Kukoricacsíra	növekvő kukoricacsíra	12,55	14,6	4,6	↓	↑	↑	-	-	ME 12,55	337×C-22 PIC	30,8±0,9 kg	ns	Weber és mtsai, 2010
Kukoricacsíra	növekvő kukoricacsíra	25,60	19,7	5,7	↓	↓	↑	-	-	ME 12,55	337×C-22 PIC	30,8±0,9 kg	ns	Weber és mtsai, 2010
Kukoricacsíra	növekvő kukoricacsíra	38,69	24,8	6,8	↓	↓	↓*	-	-	ME 12,55	337×C-22 PIC	30,8±0,9 kg	*	Weber és mtsai, 2010
Kukorica korpa	kukorica	7,5	9,4	3,6	↑	↓	↓*	↓ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	31,2±1,4 kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013
Kukorica korpa	kukorica	15	10,5	3,7	↑	↓	↓*	↓ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	31,2±1,4 kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013
Kukorica korpa	kukorica	22,5	12,9	3,9	↓	↓	↓*	↓ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	31,2±1,4 kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013
Kukorica korpa + Szójaolaj (2%)	kukorica	7,5	10,4	3,7	↓	↑	↑*	↑ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	31,2±1,4 kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013

Kukorica korpa + Szójaolaj (4%)	kukorica	15	11,3	3,8	↓	↑	↑*	↓ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	31,2±1,4 kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013
Kukorica korpa + Szójaolaj (6%)	kukorica	22,5	12,3	3,9	↓	↓	↑*	↓ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	31,2±1,4 kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013
Kukorica korpa	kukorica	8	10,6	3,3	↓	↓*	↓*	↓ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	85,4±4,7 kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013
Kukorica korpa	kukorica	16	11,9	3,4	↓	↓*	↓*	↓ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	85,4±4,7 kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013
Kukorica korpa	kukorica	24	13,11	3,6	↓	↓*	↓*	↓ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	85,4±4,7 kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013
Kukorica korpa + Szójaolaj (2%)	kukorica	8	10,4	3,2	↓	↓	↓	↓ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	85,4±4,7kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013
Kukorica korpa + Szójaolaj (4%)	kukorica	16	11,5	3,4	↓	↓	↓	↓ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	85,4±4,7 kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013
Kukorica korpa + Szójaolaj (6%)	kukorica	24	12,6	3,5	↓	↓	↓	↓ GE*	-	NE 8,37	337×C-22 PIC	85,4±4,7 kg	*	Guitierrez és mtsai, 2013
Cukorrépa pellet	árpa, extrahált szója, kukorica	8	-	-	↓*	-	↑*	-	Total VFA ↑* proximal colon; ↑* distal colon	GE 18,60	(Nagyfehér × Lapály) × Pietrain	15,0±0,2 kg	*	Anguita és mtsai, 2007
Búzakorpa	árpa, extrahált szója, kukorica	10	-	-	↓*	-	↑*	-	Total VFA ↓* proximal colon; ↓* distal colon	GE 18,90	(Nagyfehér × Lapály) × Pietrain	15,0±0,2 kg	*	Anguita és mtsai, 2007
Kukricacsutka	kukorica, szója, árpa, búza	80 g/kg Sza	45,4	17,1	↑*	↑*	↑*	-	-	GE 18,40	Nagyfehér x Lapály, PIC	14,0±1,2 kg	*	Wate és mtsai, 2014
Kukricacsutka	kukorica, szója, árpa, búza	160 g/kg Sza	47,4	18,6	↑*	↑*	↓*	-	-	GE 18,40	Nagyfehér x Lapály, PIC	14,0±1,2 kg	*	Wate és mtsai, 2014

Kukricacsutka	kukorica, szója, árpa, búza	240 g/kg Sza	47,7	23,6	↑*	↓*	↓*	-	-	GE 18,10	Nagyfehér x Lapály, PIC	14,0±1,2 kg	*	Wate és mtsai, 2014
Kukricacsutka	kukorica, szója, árpa, búza	320 g/kg Sza	50,5	25,7	↑*	↓*	↑*	-	-	GE 18,10	Nagyfehér x Lapály, PIC	14,0±1,2 kg	*	Wate és mtsai, 2014
Kukricacsutka	kukorica, szója, árpa, búza	400 g/kg Sza	50,7	32,6	↓*	↓*	↓*	-	-	GE 18,00	Nagyfehér x Lapály, PIC	14,0±1,2 kg	*	Wate és mtsai, 2014
Kukorica DDGS	kukorica, szója	15	13,0	-	↓	↑*	=	-	-	ME 12,55	Keresztezett	33,0-121,0 kg	*	Cromwell és mtsai, 2011
Kukorica DDGS	kukorica, szója	30	16,8	-	↓	↓*	↓	-	-	ME 12,55	Keresztezett	33,0-121,0 kg	*	Cromwell és mtsai, 2011
Kukorica DDGS	kukorica, szója	45	20,6	-	↓	↓*	↓	-	-	ME 12,55	Keresztezett	33,0-121,0 kg	*	Cromwell és mtsai, 2011

¹: NDF: Neutral detergent fiber, neutrális detergens rost

²: ADF: Acid detergent fiber, sav detergens rost

³: ATTD: Apparent Total Tract Digestibility, látszólagos emészthetőség (teljes emésztőrendszeren)

⁴: Total VFA: Total Volatile Fatty Acid, összes illózsírsav

⁵: p: p érték, ns: nem szignifikáns; *: p < 0.05

⁶: GE: Gross Energy, bruttó energia

⁷: NE: Net Energy, nettó energia

⁸: PIC: Pig Improvement Company – hibrid genotípus

⁹: ME: Metabolizable Energy, metabolizálható energia

¹⁰: Sza: szárazanyag

¹¹: Schwaebisch Haellisches Schwein – német genotípus

¹²: Bunte Bentheimer – német genotípus

2.4. A nagy rosttartalmú takarmányok alkalmazása és a receptúrakészítéskor használt energiaérték közötti kapcsolat

A melléktermékek receptúrába való illesztésekor és ezáltal a nagyobb rosttartalommal kapcsolatban fontos áttekinteni a receptúrakészítés során használt energiaértékelési rendszer és a genotípus fontosságát. A takarmány összetevői, az etetési technológia, az egyed fejlődésének intenzitása befolyásolhatják a különböző táplálóanyagok és az energia emészthetőségi együtthatóját (*Le Gall és mtsai, 2009*).

A hagyományos fajták tenyésztő munkájának szelekciós céljai között a kielégítő termelési színvonal elérése szerepelt nagy energia- és fehérjetartalom melletti alacsony rosttartalmú takarmányozás mellett (*Noblet és mtsai, 2013*). A legújabb szelekciós kutatások azonban azt bizonyítják, hogy nincs különbség a különböző fajták között emésztési hatékonyság tekintetében, ha a szelekció az RFI (Residual feed intake- maradvány takarmány felvétel) mutatójára irányult (*Barea és mtsai, 2010*). Az emésztési hatékonyságra irányuló kísérletek döntő részében megmutatkozott, hogy az emésztési hatékonyság növelésének háttere és feltétele a bélrendszer anatómiai felépítése és szövettani állapota (*Rougière és mtsai, 2009*). A kor előrehaladtával javul a vastagbélben zajló rost fermentációjának hatékonysága, hiszen a hízóállatok nagyobb kapacitással rendelkeznek, mint a növendék egyedek (*Noblet és Shi, 1994; Noblet és mtsai, 1994a,b; Wu és mtsai, 2007*) a fokozott mikrobapopuláció aktivitásnak köszönhetően (*Just, 1983; Shi és Noblet, 1993*).

Az energiarendszer nagy mértékben meghatározza, hogy a modern genotípusú hízósertéseknél a receptúrában végbemenő változtatások hogyan befolyásolják a gyakorlati szakemberek által leginkább nyomon követett naturális termelési mutatókat. Azokban az országokban, ahol a sertéshízalás alapvetően gabonaalapanyagokra alapozott, ott a metabolizálható energiarendszer (ME) nagy biztonsággal alkalmazható. Ezzel ellentétben a nettó energiarendszer (NE) használata terjedt el olyan országokban (pl. USA), ahol gyakori és jelentős mértékű a melléktermékek takarmánykeverékekbe való beillesztése (*Szabó és Halas, 2013*). Az NE alapú adagösszeállítás Európában is egyre inkább tért hódít. Ennek oka az intenzív genotípusok használata, valamint az egyre nagyobb mértékű bioetanolgyártás, amelynél hatalmas tömegben keletkezik takarmányozási célra felhasználható melléktermék. Az intenzív termelési körülmények között a melléktermékek nagyobb rosttartalmuk ellenére is eredményesen alkalmazhatóak. Napjaink takarmányozási gyakorlatában nem csak egy, hanem több melléktermék is a receptúrákba kerül. Ebből adódóan sem jár előnnyel a DE vagy

ME használata, mivel az esetek többségében a DE:ME aránya 0,96, ami közel állandónak tekinthető (Noblet, 2005). Ez az arány továbbá szintén nem használható biztonsággal különböző nagyobb rosttartalmú alapanyagok energiaértékének kalkulálására (Shi és Noblet, 1993), mivel összetételük különbözhet fermentálható rost- illetve fehérjetartalmukból adódóan. A nettó energia ad legpontosabb értéket a takarmány energiatartalmára vonatkozóan, mivel figyelembe veszi a bakteriális fermentációból származó hőtermelést is (Noblet és mtsai, 1994a). Ha nő a takarmány fermentálható rosttartalma, csökken a takarmányadag ME hasznosulása a nagy metántermelés és a fermentációból adódó hőveszteség miatt (Payne és Zijlstra, 2007).

Számos tanulmány alátámasztja, hogy a receptkészítéskor alkalmazott energiarendszer hatással van a termelési eredményekre (Noblet és van Milgen, 2004; Wu és mtsai, 2016). A takarmány nyersrosttartalmának növelésével csökken az etetett adag energiatartalma. A jelentkező energiahiányt a sertések nagyobb takarmányfelvétellel próbálják kompenzálni. A takarmányfelvétel növekedésekor a passzázs gyorsul és csökken az emésztésre, illetve a fermentációra jutó idő. A nagyobb takarmányfelvétel és az ennek következtében romló fajlagos takarmányértékesítés miatt nem szívesen alkalmazták a nagy rosttartalmú alapanyagokat (Owen és Ridgeman, 1967, 1968; Frank és mtsai, 1983). Más vizsgálatok ezzel pont ellenkező eredményt hoztak. Rostban gazdag melléktermékek receptúrába illesztésekor (ME értéket alkalmazva), csökkent a takarmányfelvétel (Cromwell és mtsai, 2011; Asmus és mtsai, 2012; Salyer és mtsai, 2012; Hardman, 2013; Hinson és mtsai, 2007). Az eredményt a nagyobb rosttartalmú takarmány emésztőrendszerre gyakorolt hatásával magyarázták. A rostban gazdag takarmány nagyobb emésztőrendszert kitöltő hatással rendelkezik, telítettségi érzést kiváltva gátolja a takarmány-felvételt (Henry, 1987). A takarmányfelvételt sertésben, hasonlóan más állatfajokhoz, tehát befolyásolja az emésztőrendszer befogadóképessége (Wu és mtsai, 2016), ami fokozatosan növekszik az állat életkorával. A nagyobb befogadóképesség birtokában az állatok több, nagyobb rosttartalmú takarmányt tudnak felvenni. A több, a rostban gazdag takarmányok esetében nem jelent feltétlenül nagyobb súlyt. Ennek hátterében a rostban gazdag alapanyagok terimessége (egységnyi térfogatú takarmány tömege) áll, mivel a rostban gazdag alapanyagok tömegsűrűsége meghaladja a kevésbé rostos alapanyagokét. Wu és mtsai (2016) vizsgálták NE érték alapján összeállított különböző abrakkeverékekből felvett takarmány térfogatát. A 4 fázisú hízlalási kísérletben (29-120 kg) a kontroll, kukorica-szójadara alapú takarmányt egészítették ki 15% búzatakarmányliszttel, 30% kukorica-DDGS-sel, valamint 15% búzatakarmányliszt + 30% kukorica-DDGS melléktermékekkel. A kísérletben használt melléktermékek esetében ismert, hogy az NDF mennyisége a kukorica

DDGS-ben körülbelül 3-szor nagyobb, mint a kukoricában, aminek következtében a kísérleti kezelésekben jelentősen megnőtt a keveréktakarmányok ADF- és NDF-tartalma. A térfogat a kontroll esetében 3,16 l/nap volt, a 15% búzatakarmánylisztet tartalmazó takarmánykeveréknél 3,69 l/nap, a 30% kukorica-DDGS-nél 3,21 l/nap és 15% búzatakarmányliszt + 30% kukorica-DDGS-t tartalmazó takarmánykeverék esetén 3,27 l/nap az I. hízalási fázisban. A napi takarmány-felvétel csak a kontroll (2,89 kg/nap) és a 30% kukorica-DDGS-t (2,79 kg/nap) tartalmazó takarmányok között tért el szignifikáns mértékben ($p < 0,05$), azonban valamennyi kezelés esetén kevesebb volt e mutató, mint a kontroll csoport napi takarmányfelvétele. Idézett szerzők nem találtak szignifikáns eltérést a súlygyarapodásban (g/nap) illetve a takarmányértékesítésben (kg/kg) egyik hízalási fázisban egyik kísérleti kezelés hatására sem.

Ez a kísérlet is arra hívja fel a figyelmet, hogy a rostban gazdag alapanyagok receptúrába történő illesztése esetén ajánlott a nettó energia (NE) érték alapján történő takarmánykeverék formulázás. A romló hízalási eredmények hátterében a nagyobb nyersrost-, illetve NDF- és ADF-tartalom, illetve a metabolizálható energia (ME) érték használata állhat. A ME rendszer ugyanis túlbecsüli a nagy rost- és fehérjetartalmú összetevők energiaértékét (*Noblet és Milgen, 2004*).

2.5. Elektrogasztrográfia

2.5.1. Az elektrogasztrográfia (EGG) fogalma és alapja

A gerinces állatok szervezetét számos szövettípus építi fel, amelyek hozzájárulnak az élőlények működéséhez és ezáltal túlélésükhöz. Ezek a szövetek speciális felépítésűek és a bennük található specializált sejteknek köszönhetően látják el feladatukat. A szövetek szerveket alkotnak, amelyek funkciójukat nagy hatékonysággal képesek elvégezni, hiszen felépítésük az adott funkció ellátására fejlődött ki. Ilyen szövet a csont, a hám, a harántcsíktölt izom, a simaizom, valamint az idegsejthálózat.

A testet felépítő szövetek közül a vázizom (harántcsíktölt izom), a szívizom (speciális harántcsíktölt izomszövet) és a simaizom (emésztő-, illetve belső ivarszervek) funkciójukat javarészből az őket felépítő fehérjemolekulák alkotta rostos állomány összehúzódása és elernyedése révén töltik be. Az összehúzódásra való képességet nevezzük kontraktilitásnak. Az izmok kontraktilitása révén valósulhat meg a mozgás (vázizmok), a vérkeringés

(szívizom), az emésztés (gyomor és bélrendszert felépítő simaizom) és a szaporodás (méh, petevezetők, ondóvezeték, stb.).

Az izmok mozgási (összehúzódás-elernyedés) tevékenysége az őket felépítő sejtek hálózatain végighaladó elektromos impulzusok révén valósul meg, így a végbemenő izommunka különböző paraméterek segítségével jellemezhető, illetve mérhető. A gasztrointesztinális (GI) szerveket alkotó simaizom szöveteknek saját pacemaker-sejtjei vannak, úgynevezett Cajal intersticiális sejtek (cells of Cajal - ICCs). Ezek a sejtek kulcsszerepet játszanak az elektromos jel generálásában és terjedésében a GI szerveket alkotó simaizom szövet összehúzódása során. Az ICCs-k lassú hullámú elektromos impulzusokat generálnak, ami az összehúzódások akciós potenciáljának indukálásában mutatkozik meg, továbbá meghatározható a keletkező hullámok frekvenciaértéke (*Lammers, 2015*). Az ICCs-k által spontán generált elektromosság a simaizomsejtek elektromos és mechanikai aktivitása által mérhető.

Az izmok tevékenységének mérésére alkalmas, nem invazív mérési módszert nevezünk összefoglaló néven elektromiográfiának (EMG - electromyography). Ezen belül megkülönböztethetünk a gyomor vizsgálatára alkalmas elektrogasztrográfiát (EGG - electrogastrography) (*Chen és McCallum, 1994; Parkmann és mtsai, 2003*) valamint az egész emésztőrendszer simaizom szövetének vizsgálatával foglalkozó elektromiográfiát (SMEMG - gastrointestinal smooth muscle electromyography).

Az elektromiográfia lényege, hogy az izmok mozgásának létrehozásában szerepet játszó elektromos impulzusokat képes rögzíteni, aminek segítségével képet kaphatunk az izmokban zajló munka jellegéről. Az izmok munkavégzése bonyolult folyamat és a sejtmembrán felszínén végbemenő potenciálváltozás jelenségén alapszik (depolarizáció). A sejtmembrán külső és belső oldalán különböző egy vegyértékű ionok helyezkednek el. A külső oldalon nagy mennyiségű nátrium (Na^+) és kis mennyiségű klór ion (Cl^-) található, ezért a sejtmembrán külső oldala pozitív töltésű. A membrán belső oldalán kálium ionok (K^+) és nagy mennyiségű, negatív töltésű fehérje ion helyezkedik el, ezért a belső oldal alapvetően negatív töltésű. Az ilyen sejtmembránokat nevezzük polarizált membránoknak. A különböző sejtek polarizáltsága jelentősen eltér a szervezetben. Nagy polarizáltságú (az elektromos potenciálkülönbség nyugalmi állapotban -90 mV) és ezért ingerelhető sejtek közé csak az ideg- és az izomsejtek tartoznak.

Ha a sejtmembránt inger éri, akkor rövid időre megváltozik a külső és belső oldal közti feszültségkülönbség. Az inger hatására a membrán áteresztővé válik és nagy

mennyiségű Na^+ áramlik a sejtbe, ezért rövid időre a membrán belseje pozitívvá válik és a külseje lesz negatív. Ezt nevezzük depolarizációnak, aminek következtében elektromos aktiváció történik (akciós potenciál), ami csak rövid ideig jellemzi a sejtet, majd visszaáll az eredeti polarizált állapotra. Az elektromos aktiváció hatására nagy mennyiségű kalciumion (Ca^{2+}) szabadul fel a sejtben, ami bizonyos idő elteltével (latencia) előidézi az izomrostok összehúzódását. Mivel a sejtek főként rés kapcsolatokon keresztül szoros kapcsolatban állnak egymással, a fellépő akciós potenciál hullámként haladhat végig a sejtek hálózatán, így halad az ingerület.

2.5.2. Az izomtevékenységek jellemzésére használt paraméterek

Az izommozgások jellemzésére jól használhatóak az izmok által gerjesztett elektromos hullámok frekvenciaértékei, vagyis hogy egy adott izom milyen gyakorisággal húzódik össze, illetve az azzal fordított arányban álló (vagy ellentétesen változó) hullámhossz. A harántcsíkolt izom aktivitásának elemzésekor a hullámhossz mediánja a leggyakrabban alkalmazott paraméter (*Delliaux és mtsai, 2006*), a simaizom esetében azonban ez ritkán alkalmazható (*Verdenik és mtsai, 2001*). Ennek oka valószínűleg a sima illetve a harántcsíkolt izomból származó elektromos jelek közötti jelentős frekvenciakülönbség. A harántcsíkolt izmok frekvenciatartománya igen széles (20–400 Hz), harangalakú hullámokkal. Ezzel szemben pl. a méhizom aktivitása leggyakrabban hullámcsúcsokkal írható le, amiknek EMG jelei egy szűk tartományon belül találhatóak (0,34–1,00 Hz), amik gyakran el sem érik az 1 Hz-es értéket. Ezeknek a lassú hullámhosszú összehúzódásoknak a gyakoriságát a ciklus per perc (cycle per minute – cpm) értékkel szokták jellemezni, ami 1 Hz hatvanad része.

Másfelől viszont a simazimokra jellemző viszonylag keskeny frekvenciasávban a teljesítménycúcsok elhelyezkedése rögzítésenként eltérő lehet, ezért a simaizom mozgások jellemzésére a hullámhossz medián értéke kevésbé használható.

Az összehúzódások gyakorisága mellett azok erőssége is jellemzi egy adott izom tevékenységét. Ezt korábban kilengésnek (amplitúdónak) nevezték, mára viszont az erő mértéke (Power Spectrum – PS) kifejezés terjedt el. A frekvencia és az erő mértéke együttesen az izommozgást leíró hullámgrafikon alatti területet adja meg, vagyis az izom által elvégzett munkát.

Az elektrogasztrógráfiai méréseik alapján *Chen és McCallum (1994)* összefoglalta a felvételek értékelése során leggyakrabban használt paramétereket és azok értelmezését,

amelyek a szélesebb körben értelmezett elektromiográfiai mérések kapcsán is alkalmazhatóak.

Domináns frekvencia (DF) az a frekvenciaérték, amihez a legnagyobb Power csúcs tartozik. A Domináns Power (DP) pedig az ehhez a frekvenciaértékhez tartozó Power érték. Mindkét paramétert (DF és DP) az EMG felvételtől készült ún. „Power spectral analízis” követően lehet megállapítani. Az analízis során a kapott miográfias adatokat gyors Fourier-transzformációval (FFT – Fast Fourier Transformation) alakítható át, míg végül megkapható a Power Spectrum Density (PSD) érték, ami egy adott időtartamra vonatkozó izommunka mennyisége (*Chen és McCallum, 1991*). A legújabb kutatásokban meghatározzák a Power Spectrum Density Maximum (PsDmax) értéket is, ami a rögzített mioelektromos jelek intenzitását fejezi ki (*Szűcs és mtsai, 2017*).

2.5.3. Az EGG mérési módszer fejlődése humán és sertés vonatkozásában

Az első elektrogasztrográfias mérések az 1920-as években történtek, majd az 1960-as évektől egyre szélesebb körben kezdték használni a módszert a gyomor-béltraktus motilitás jeleinek rögzítésére humán vizsgálatokban. Ugyanakkor a mai napig jellemző humán vonatkozásban, hogy a kutatások és a diagnosztikai metodikák szinte kizárólag a gyomorral foglalkoznak. Különböző bélszakaszokról történő jelek rögzítésével kapcsolatosan csak néhány cikk lelhető fel, ezek többsége modellállatokon végzett kísérletet dolgoz fel. Az EEG-t farmakológiai kutatásokban használják, amiben a sertést, mint modellállatot alkalmazzák (*Varayil és mtsai, 2009; Tacheci és mtsai, 2011; Kvetina és mtsai, 2015; Bures és mtsai, 2020*). A sertéssel rögzített EGG jelek teljes mértékben összehasonlíthatók az egészséges emberben mért eredményekkel (*Tacheci és mtsai, 2013*). Ebből adódan a sertések különféle preklinikai kísérletekben széles körben felhasználhatók (*Kvetina és mtsai, 2008; Kopáková és mtsai, 2010; Bures és mtsai, 2011a,b; Tacheci és mtsai, 2011*), a nagyon hasonló felépítésű és funkciójú emésztőrendszernek köszönhetően (*Karali, 1995*).

Az első bőrfelületre helyezett, külső elektródákkal rögzített elektromos jelekről készült tanulmányt *Alvarez* (1922) publikálta. Később, *Alvarez*t követve sokan közöltek a gyomor mioelektrikus jelének rögzítésével foglalkozó eseteket (mind elektrogasztrográfias, mind eltérő technika használatával).

Humán (főleg éber) pácienseknél és modellállatok, így sertés esetében is a vastag-, illetve vékonybél mioelektrikus jeleinek rögzítésére a felszíni elektródák használatán kívül kevés lehetőség nyílik, hiszen azok megközelítése, különböző belső szenzorok elhelyezése

meglehetősen nehézkes. Altatott patkányon kivitelezhető az elektródák műtéti úton való beültetése. *Szűcs és mtsai* (2016) az elektródákat a gyomor, a vékonybél és a vastagbél felületére helyezték, a simaizom szöveteket alkotó függőleges izomrostokra. Az elektrogasztrogram használata lehetőséget biztosít az adott szervek mioelektrikus jelének rögzítésére, azonban a gasztrointesztinális traktusból rögzített felvételek összetettek, megfelelő szoftveres értékelésükhöz az egyes szervekre jellemző frekvenciatartományok előzetes meghatározása szükséges.

Az EGG, mint vizsgálati metodika jelenleg nem elterjedt és nem ismert gazdasági állataink emésztőszervrendszerének motilitás vizsgálatára. Az irodalmat áttanulmányozva ezen vizsgálati móddal nem végeztek takarmányozási kísérletet növendék sertésekkel. Nincs kidolgozott módszer éber, altatás nélküli körülmények között végzett kísérlet beállításához, továbbá nem ismert a sertés vagy egyéb gazdasági állat emésztőrendszerében a simaizomszövet cpm tartományainak értéke sem. Az ilyen irányú irodalmi adatok hiánya miatt a következőkben humán páciensekkel végzett kutatások fejlődését és eredményeit ismertetem.

Brown és mtsai (1975) a korábbi publikációk alapján összegezték az emésztőszervrendszer egyes részeire jellemző frekvenciatartományokat humán vizsgálati eredmények alapján (2. táblázat). *Brown és mtsai* (1975) a korábbi kutatásokhoz hasonlóan, szintén a gyomorra jellemző 3 cpm körüli értékkel és annak eredetével foglalkoztak. Egyéb szervekkel kapcsolatosan egyetlen megállapítást emeltek ki, mely szerint a vizsgálatban részvevő személyek legtöbbször 10 és 12 cpm közötti elektromos ritmusokat is észleltek. Mivel a légzést külön monitorozták, így ezek eredőjének a vastag- és/vagy a vékonybelet jelölték meg.

2. táblázat: Az emésztőtraktus egyes szerveire jellemző frekvenciatartományok
(*Brown és mtsai*, 1975)

Szerv	cpm érték ¹	Szerző(k)
Gyomor	3	Alvarez (1922)
Patkóbél	11; 7	Bass és mtsai (1961); Christensen és mtsai (1964)
Csípőbél	(3)5-9	Waterfall és mtsai (1972)
Szigmabél	6-9	Couturier és mtsai (1969)

¹cycle per minutes, percenkénti összehúzómozgások száma

További kutatásokban (*Daniel és mtsai*, 1959, 1960; *Garett és mtsai*, 1963; *Holaday és mtsai*, 1985) különböző modellállatokban, illetve humán egyedekben elemezték a vékonybél simaizom szövetének mioelektrikus tevékenységét. A vizsgálatokat ileostoma

műtétek során vagy nyitott hasi műtétekkel egybekötve a vékonybél felső szakaszán végezték. Ezen kutatások alapozták meg *Christensen* és *mtsai* (1964) ambuláns betegekkel végzett méréseit. A vizsgálatban résztvevő 37 egyénnél a hasfalra elhelyezett elektródák mellett fluoroszkópia segítségével a duodenumba levezettek egy második elektródát is (salt-bridge electrode/intraluminal balloon pressure electrode), és a két elektróda által készített felvételeket hasonlították össze. A felvételezés során az ún. BER (basic electrical rhythm) frekvenciát a duodenum több pontján rögzítették (3. táblázat).

3. táblázat: Átlagos BER (alap elektromos ritmus) értékek a duodenum különböző pontjain (*Christensen* és *mtsai*, 1964)

Mérési pont	BER ¹
Duodenum felső része	11,80
Duodenum középső része	11,77
Duodenum alsó része	11,55

¹ BER (Basic electrical rhythm/alap elektromos ritmus)

Waterfall és *mtsai* (1972) vastagbél eltávolító műtéten átesett páciensek esetében vizsgálták az ileum mioelektrikus tevékenységét. Az ileum hátsó szakaszába (12 cm mélyen, annak falába körülbelül 2 mm-t benyomódva) illesztettek egy speciálisan kialakított rozsdamentes acél elektródát, a külső bőrfelületre pedig egy referencia elektródát. A belső elektróda mellett egy nyitott katétert is bevezettek ugyanazon csövön keresztül. A páciensek többségénél különböző készítmények beadásának hatását vizsgálták az ileum motoros és elektromos tevékenységére. A tesztben résztvevők közül azonban 6 esetben csak nyugalmi méréseket végeztek, melyek felhasználhatóak voltak az ileum standard frekvencia tartományának meghatározására.

Wankling és *mtsai* (1968) által készített tanulmányban a végbélben rögzített elektromos hullámtevékenységet két részre választották szét, lassú és egy ultralassú hullámra.

Chen és *mtsai* (1993) egészséges humán páciensekben vizsgálták a rögzített EGG jelek összetételét és összefüggéseit az egyes gasztrointesztinális szervekben fellépő kontrakciókkal. A vizsgálatban 10 egészséges női önkéntes vett részt (20-39 év között). Endoszkóppal motilitássonduát helyeztek el a vékonybél felső szakaszánál, emellett felszíni elektródákat rögzítettek a hasfalon az EGG felvételhez. Ezután délután 4-től másnap délelőtt 10-ig történtek a felvételezések meghatározott időnközönként táplálékfogyasztással. A különböző elhelyezkedésű felszíni elektródákkal rögzített primer görbéket, szűrt jeleket és kiértékelt eredményeket hasonlították össze egymással, összefüggéseket keresve a különböző mérési módszerekkel kapott eredmények között.

A gyomorra jellemző, normál 3 cpm-es aktivitás mellett egy alacsonyabb frekvenciájú összetevő is megjelent (1 cpm körül). A „low-pass” szűrés során minden 1,2 cpm-nél nagyobb komponens kiszűrtek. A felvételeken a gyomorral jellemző 3 cpm-es és a fent már azonosított 1 cpm körüli frekvenciák mellett egy magasabb, 12 cpm körüli komponens is megjelent. A „High-pass” (magas tartományban lévő) szűrés során minden 6 cpm-nél alacsonyabb komponens meghatározott. A szerzők mind az alacsony, mind a magas frekvenciájú értékeket a vékonybél kontrakcióval hozták összefüggésbe.

Taylor és mtsai (1975) munkájuk során a colon és a rectum mioelektrikus tevékenységét vizsgálták három különböző típusú és elhelyezkedésű elektróda használatával (rozsdamentes acél elektróda a végbélen felvezetve egy tubusban, rozsdamentes acél elektróda beültetve a vakbél területére 5 napon keresztül, ezüst illetve ezüst-klorid elektródák a bőrfelszínre rögzítve a vastagbél területén). A colon körül felvett jelekre mindhárom elektródátípus esetében kétféle frekvenciasáv volt jellemző. Egy magasabb frekvenciájú (6-11 cpm), de kisebb amplitúdójú és egy alacsonyabb frekvenciájú (2-4 cpm).

Amaris és mtsai (2002) abból indultak ki, hogy az EGG felvételek spektrumanalízise során a gyomor normál működésénél alacsonyabb és magasabb frekvenciatartományban is gyakran jelentek meg domináns csúcsok, melyeket 2,5 cpm alatt bradygastriának (rendellenesen lassú mioelektrikus működés), 3,75 cpm felett tachygastriának (rendellenes gyors mioelektrikus működés) definiáltak. Munkájuk során arra keresték a választ, hogy ezek a csúcsok egyértelműen a gyomor abnormális működését jelzik, vagy esetleg más forrásból erednek. A méréseket tíz egészséges, nyolc vastagbél eltávolításon és négy gyomor eltávolításon átesett egyénen végezték felszíni elektródákkal. A spektrumanalízis során a vastagbélben domináns frekvenciacsúcsok 2,5 cpm alatt is megjelentek, a gyomorban a csúcsok 2,5 és 3,75 cpm közé estek. Megállapították, hogy a gyomor eltávolítása után a domináns frekvenciacsúcsok a 2,5 cpm alatti tartományba tolódtak és a “Power értékek” emelkedtek. A vastagbél eltávolításának következményeként a 2,5 cpm alatti csúcsok csökkentek, vagy eltűntek, így az átlagfrekvencia növekedett.

A felsorolt módszerekben bizonytalan elem, hogy a rögzített jelek kizárólag a feltételezett emésztőszervből származtak-e. Továbbá az emésztőtraktusból származó lassú és gyors hullámok formájában detektált jeleket egyéb “zajok” is terhelhetik, mint például a légzésből és a mozgásból eredő artefaktok (*Qin és mtsai*, 2015), vagy az agyból, a szívizomból továbbá a vázizomból származó gyors hullámú jelek. Másrészt nincs egyértelmű adat a sertés vagy más haszonállat esetében az emésztőtraktus fő szegmenseinek

(gyomor, vékonybél és vastagbél) mioelektromos jeleinek frekvencia paramétereiről, melyek összehasonlítási alapot tudnának képezni a kutatásoknak.

Szűcs és mtsai (2016) korábban már említett kísérletükben az emésztőtraktus különféle szegmenseiből származó simaizomszövetekben detektált jelek azonosítását valósították meg patkány modellállatban. Kutatásuk alapvető célja volt az emésztőtraktus adott szerveinek (gyomor, vékonybél és vastagbél) lassú hullámú frekvencia paramétereinek azonosítása. A kifejlesztett módszer segítségével nyomon követhetők voltak az emésztőszervek mioelektromos aktivitásának változásai, valamint a mechanikai összehúzódások az érzéstelenített patkányokban. A jeleket rögzítő és feldolgozó szoftvert elektronikus szűrőkkel látták el, amelyek elválasztották a simaizom szövet jeleinek lassú hullámait a szív, az agy és a vázizom elektromos tevékenységétől. A kísérleteket érzéstelenített, hím patkányokon (Sprague-Dawley) végezték, három kísérleti elrendezésben (3 csoport). Laparotomia (a hasfal sebészeti felnyitása) után szinte az egész emésztőszerszerrendszert eltávolították egy-egy szegmens kivételével (1. csoport: gyomor; 2. csoport: vékonybél; 3. csoport: vastagbél, $n = 6$ mindegyik csoport esetében). A célszervek felületén bipoláris drót elektródapárt (SEN-15-1; MDE GmbH, Walldorf, Németország) helyeztek el (a két elektróda közötti távolság 8 mm volt). Ezek az elektródák mind a gyors (zaj), mind a lassú mioelektromos hullámokat rögzítették a szervek felületén. Az adott szerv fölötti bőrbe bipoláris lencse alakú elektródapárt (SEN-15-2; MDE GmbH, Walldorf, Németország) rögzítettek (elektródák távolsága 20 mm volt), melyek alkalmazása azért különösen érdekes, mert a hasizmok elektromos aktivitása nem, hogy nem zavarja a bőr felületén történő mérést, hanem az elektródák és célszervek között elhelyezkedő szövetek ráadásul még természetes szűrőrendszert is alkotnak a magasabb frekvenciájú hullámok semlegesítésére (*Qin és mtsai*, 2015). Az egyes szervek (gyomor, csípőbél, vakbél) felületére feszültségmérő elektródák is kerültek (SEN-04-FSG2; MDE GmbH, Walldorf, Németország), amik a mechanikus összehúzódásokat rögzítették. Mivel a mioelektromos impulzusok rögzítése egyszerű elektródapárokkal történt, ezért érzékeny és kiváló minőségű digitális szűrőkkel lehetett csak a simaizmok lassú hullámú jeleit, az agy, a szív- és vázizmok gyorsabb impulzusaitól elválasztani.

A kapott elektromiogram (EMG) görbék és az összehúzódások által sikerült feltérképezni a gyomor, a csípőbél (ileum) és a vakbél (caecum) eltérő mioelektromos tulajdonságait az emésztőszerveitől részlegesen megfosztott patkányokban. A drót- és lencseelektródák hasonló mioelektromos jeleket rögzítettek. A gyomor cpm értékei 3-5, a csípőbél (vékonybél) 20–25, a vakbél 1–3 közé estek.

Az elsődleges EMG-görbék gyors Fourier-transzformációs (FFT – Fast Fourier Transformation) átalakításával sikerült az egyes szervek végezte munkát is kiszámolni (Power spectrum analízis). A jelek maximális intenzitása (power spectrum density: PsDmax) magasabb volt a drótelektrodák esetében.

3. CÉLKITŰZÉS

A doktori munkám fő célja, hogy hiánypótló adatokat szolgáltatson a rost növedék- és hízósertések takarmányozásában való felhasználhatóságáról. Vizsgálataimban tisztázni kívántam, hogy a különböző rostforrások a sertések termelési mutatóit miként befolyásolják. Széles körű analitikai módszerekkel elemeztem a növedéksertések takarmánykeverékeinek nyersrosttartalmát, rostösszetételét. Céлом volt feltérképezni a hazai takarmányipar körében a rostban gazdag alapanyagok felhasználásának gyakorlatát. Az elemzésekkel további céлом volt választ adni arra a kérdésre, milyen mennyiségben alkalmazhatók a rostban gazdag alapanyagok a receptúrákban.

Doktori munkám másik fontos célja egy új vizsgálati metodika (emésztőrendszer simaizomszövetének elektromiográfiás mérése) megvalósításával és sertésre való adaptálásával kimutatni a rost emésztőrendszerre gyakorolt hatását.

Az előbbieken leírtak szerint a kísérleti munkát két témakörre osztottam:

1. Nagy rost- illetve NDF- és ADF-tartalmú ipari melléktermékek etetésének hatása a növedék- és hízósertések termelési mutatóira.

2. A rost emésztőrendszerre gyakorolt hatásának monitorozása a simaizomszövet elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) vizsgálatával növedék sertésben.

A két témakörön belül különböző kísérletekkel kívántam további információt nyerni a sertések rostellátásáról illetve a rost hatásáról.

Az 1. témakörben az analitikai elemző vizsgálatokkal céлом a hazánkban növedék sertéseknél (30-70 kg élősúly között, süldő/növedék/hízó I.) használt takarmánykeverékek nyersrosttartalmának illetve a rostfrakciók mennyiségének felmérése. A vizsgálatok elvégzését az indokolta, hogy nincs megalapozott ismeretünk sertések rostalkotókra vonatkozó szükségleti értékéről. A *Magyar Takarmánykódex* (2004) és az Európai Közösség takarmányok minősítésére vonatkozó rendelete (767/2009/EK) a keveréktakarmányok nyersrosttartalmára ad javaslatot. Ehhez a vizsgálathoz kapcsolódóan céлом volt a mért és a számított (receptúrakészítés során beállított) adatok összehasonlítása. További cél volt, hogy képet kapjunk a hazánkban, a gyakorlat által használt melléktermékek köréről, és arról, hogy mennyire elterjedt alkalmazásuk a növedéksertések részére kialakított keveréktakarmányokban.

Az analitikai vizsgálati eredmények alapján hízlalási kísérletben kívántam tesztelni a különböző melléktermékek (kukorica-DDGS, szójahéj, búzakorpa, cukorrépaperlet) etetésének hatását a növendék- és hízósertések termelési mutatóira nagy NDF-tartalmú takarmányozás mellett.

A doktori munkám 2. témakörénél az SMEMG mérési technika alkalmazhatóságát és az alkalmazás módját határoztam meg. A metodika kidolgozását követően célom volt a gasztrointesztinális rendszer SMEMG vizsgálata nagy rosttartalmú takarmányozás mellett növendék sertésekkel.

A disszertációban a célkitűzésben megjelölt vizsgálatok szerint ismertetem a kísérletekre vonatkozó Anyag és módszer, Eredmények és értékelésük valamint Következtetések és javaslatok fejezeteket.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. A nagy rosttartalmú ipari melléktermék alapú takarmánykeverékek etetésének hatása a növedék és hízósertések termelési mutatóira

4.1.1. Analitikai elemző vizsgálatok a hazai növedéksertes takarmánykeverékek nyersrosttartalmára illetve az egyes rostfrakciók mennyiségére vonatkozóan

4.1.1.1. A mintagyűjtés módja

A vizsgálati célok megvalósítása érdekében teljes értékű takarmánykeverék-mintákat gyűjtöttünk (2016. október és 2017. március között) a nagyobb hazai takarmánygyártó- és forgalmazó cégek közreműködésével. A vizsgálatokba vont minták nagyüzemi (minimum 250 koca és szaporulata) tenyész- illetve árutermelő sertéstelepekről származtak, melyek saját előállítású keveréket használtak illetve hazai meghatározó takarmánygyártótól jellemző keverékként (n=22), egy minta egy mintavételből származott. A takarmánymintákat biztosító üzemekben lévő genotípusokat a *Magyar Takarmánykódex* (2004) által definiált kategóriákba soroltuk: „A” genotípusú (n=15, hibridek és más nagy teljesítményre képes keresztezések) illetve „B” genotípusú (n=7, tisztavérűek és keresztezéseik) állományok voltak.

4.1.1.2. Alkalmazott analitikai módszerek

A gyűjtött minták rosttartalmát kémiai és NIRS módszerrel határoztuk meg.

A mintákban a nyersrosttartalmat a 44/2003 (IV.26.) FVM rendelet 10. számú melléklet XII. módszere (MSZ 6830-7) szerint mértük. Az NDF-, az ADF- valamint az ADL-tartalom értékeléséhez a Magyar Takarmánykódex 1990. II. 8.2. fejezetében ismertetett módszereket alkalmaztuk. A minták NDF tartalmát 2 ml 2%-os amiláz oldattal határoztuk meg, amely hőstabil alfa-amiláz (Termamyl) volt. Valamennyi minta nyersrosttartalmát FOSS NIRS™ DA 1650 (forgalmazó: Servitec Kft., Magyarország) takarmányanalizátorral is meghatároztuk 1100-1650 nm spektrumtartományban.

4.1.1.3. Alkalmazott statisztika

A számított, a kémiai és a NIRS módszerrel vizsgált nyersrostadatok közötti egytényezős varianciánalízist (Kolmogorov-Smirnov teszt, Levene-teszt, one-way ANOVA), továbbá a korrelációvizsgálatot (Pearson-féle korrelációs együttható) az SPSS 21.0 for

Windows program (IBM, Armonk, NY, USA) segítségével végeztük el. A választott szignifikancia szint valamennyi statisztikai elemzés esetében $p \leq 0,05$ volt.

Bibby és Toutenburg (1977) által leírt módszerrel meghatároztuk a kémiai és számított nyersrosttartalom közti kapcsolat minőségét. Az MSPE (mean square prediction error) érték meghatározásával a modell hibáját, azaz a kémiai és számított nyersrosttartalom közti különbséget, a relatív MSPE (relMSPE) értékkel a hiba nagyságát (%) állapítottuk meg.

$$\text{MSPE} = \sum (O_i - P_i)^2 / n$$

ahol MSPE (mean square prediction error), a becslési hiba négyzetének átlaga,

O_i a kísérletben mért értékek,

P_i a modell által becsült (P) értékek, ($i=1, \dots, n$),

n = a kísérleti megfigyelések száma.

$$\text{relMSPE} = \text{MSPE}^{0,5} / (\sum O_i)$$

Az MSPE érték felosztható 3 komponensre, melyek meghatározzák milyen %-ban felelős a 3 komponens a hibáért: A = az átlagok közti különbség (kémiai (O) és számított nyersrostértékek (P) átlaga), R = a regresszióban lévő különbség, valamint a H = nem definiált hiba, vagyis, hogy mennyire pontfelhő a mért és számított értékek képe.

$$A = (\sum O - \sum P)^2$$

$$R = (S_p^{0,5} - r * S_o)^2$$

$$S_p = \sum (P - P_{\text{mean}})^2 / n$$

$$r = (\sum (O - O_{\text{mean}}) * (P - P_{\text{mean}}) / n) / (S_o^{0,5} * S_p^{0,5})$$

$$S_o = \sum (O - O_{\text{mean}})^2 / n$$

$$H = (1 - r^2) * S_o$$

4.1.2. Különböző melléktermékek (kukorica-DDGS, szójahéj, búzakorpa, cukorrépapellet) etetésének hatása a növedék- és hizósertések termelési mutatóira nagy NDF-tartalmú takarmányozás mellett

Kísérletünkben a különböző melléktermékek etetésének hatását vizsgáltuk nagy növekedési erélyű növedék és hizósertésekkel. A búza és árpa alapú takarmányokban az extrahált szójadarát és a gabonamagvakat (búza, árpa, kukorica) helyettesítettük különböző arányban melléktermékekkel, megnövelve ezzel az etetett takarmánykeverékek NDF-

tartalmát. A receptúrát az egyes összetevők nettó energiaértékeit figyelembe véve állítottuk össze.

A vizsgálatot az Európai Bizottság irányelve (86/609/EEC) és a kutatásban résztvevő állatok védelméről szóló törvény (XXVIII. Törvény 32. cikke) előírásai szerint hajtottuk végre.

4.1.2.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük, etetett takarmányok

A hizlalási kísérletet egyedi kutricában elhelyezett növendéksertésekkel [(dán lapály × dán nagyfehér) × dán duroc] (n=60; 30 emse, 30 ártány; életkor: 86 nap) állítottuk be. A felül nyitott 1 m² alapterületű beton rácspadlós egyedi kutricákban (Schauer Agrotrophic GmbH, Prambachkirchen, Ausztria) etető és itató volt, amihez szabad hozzáférésük volt a sertéseknek. Az istállóban automatizált szellőztetést (Microfan Bravo-E, Schauer Slc, BM2 Arcotherm GA / N 45 C, Lubing Top, Schauer Agrotrophic GmbH, Prambachkirchen, Ausztria), illetve 12 óra világos (természetes és mesterséges fényforrás) illetve sötét megvilágítási programot alkalmaztunk.

A növendéksertések induló élősúlya 40,9±2,2 kg volt. Az állatokat a kísérleti kezeléseknél megfelelően három csoportba osztottuk:

1. kontroll, nincs melléktermék-kiegészítés (KON);
2. közepes melléktermék részarányú takarmány (KMT)
3. nagy melléktermék részarányú takarmány (NMT).

A kontrolltakarmány búza-árpa-extrahált szójadara alapú volt és nem tartalmazott mellékterméket, míg a közepes és a nagy melléktermék részarányú csoportban a takarmány a növendék hizlalási fázisban 14,8% illetve 26,8%, míg a hízó fázisban 19,7% és 32,8% melléktermék hányadot tartalmazott (4. táblázat). Az extrahált szójadara részarányát a növendék fázisban 13,4%-ról (KON) 6,1%-ra (KMT) illetve 3,5%-ra (NMT) míg a hízó fázisban 10,5%-ról (KON) 1,8%-ra (KMT) illetve 1,7%-ra (NMT) csökkentettük.

A kontroll és kísérleti takarmányokat az adagban szereplő komponensek nettó energiaértéke alapján (NE_g) állítottuk össze a SEGES (2016, 2020) ajánlását figyelembe véve.

A standardizált ileálisan emészthető aminosav-tartalmat (lizin, metionin+cisztin, treonin, triptofán) az NRC (2012) ajánlása szerint állítottuk be, az ideális fehérjeelv alapján. Az alkalmazott zsír- és szintetikus aminosav-kiegészítéseknek (L-lizin-HCl, L-treonin, L-triptofán, DL-metionin) köszönhetően közel azonos volt az etetett takarmányok nettó energia-

(NE_g) illetve nyersfehérjetartalma. A kísérleti takarmánykeverékekben a használt melléktermékek, illetve azok eltérő aránya következtében az NDF- illetve az ADF-tartalom a kontrollnál nagyobb volt.

4. táblázat: A növendék- és hízósertés takarmányok összetétele valamint számított táplálóanyag- és energiatartalma

Összetétel, %	Növendék ¹			Hízó ²		
	KON ³	KMT1 ⁴	NMT1 ⁵	KON	KMT2 ⁶	NMT2 ⁷
	Melléktermék arány					
Búza	50,15	50,33	49,84	45,74	37,74	15,39
Árpa	28,50	25,50	15,50	38,50	37,62	44,03
Extrahált szójadara	13,40	6,10	3,50	10,50	1,80	1,70
Kukorica	3,90	-	-	-	-	-
Opticell C5 ⁸	1,34	-	-	2,78	-	-
Kukorica-DDGS	-	11,80	14,20	-	15,00	15,00
Szójahéjpellet	-	3,00	0,60	-	4,70	0,80
Búzakorpa	-	-	10,00	-	-	15,00
Cukorrépapellet	-	-	2,00	-	-	2,00
Premix ⁹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Takarmánymész	0,90	0,95	1,05	0,85	0,95	0,95
MCP	0,45	0,30	-	0,25	0,10	-
Növényi olaj ¹⁰	-	0,50	1,70	-	0,50	3,50
L-Lizin-HCl	0,36	0,51	0,57	0,37	0,54	0,54
L-Treonin ¹⁰	-	0,01	0,03	0,01	0,04	0,06
L-Triptofán ¹⁰	-	-	0,01	-	0,01	0,01
DL-Metionin ¹⁰	-	-	-	-	-	0,02
Összesen (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Melléktermék (%)	0,00	14,80	26,80	0,00	19,70	32,80
Számított energia- és táplálóanyag-tartalom						
NEs, MJ/kg	10,00	10,00	9,98	9,80	9,81	9,81
Szárazanyag, %	88,61	89,00	89,06	88,58	89,07	89,19
Nyersrost %	4,00	4,98	5,00	5,00	6,01	6,01
NDF, %	13,52	15,91	18,11	15,20	18,08	21,71
ADF, %	6,14	6,62	6,69	7,30	7,54	8,05
Nyersfehérje, %	15,50	15,51	15,51	14,49	14,50	14,51
SID ¹¹ Lizin, %	0,83	0,83	0,83	0,78	0,78	0,78
SID ¹¹ Metionin + Cisztin, %	0,60	0,62	0,62	0,57	0,59	0,60
SID ¹¹ Treonin, %	0,66	0,66	0,67	0,63	0,65	0,67
SID ¹¹ Triptofán, %	0,21	0,19	0,20	0,20	0,18	0,19
Kalcium, %	0,56	0,55	0,55	0,50	0,51	0,50
Hasznosítható foszfor, %	0,45	0,45	0,45	0,40	0,41	0,48
Nátrium, %	0,19	0,20	0,20	0,19	0,20	0,20

¹Növendék fázis, 0-42. nap

²Hízófázis, 42-67. nap

³KON: kontroll, 0% melléktermék

⁴KMT1: közepes melléktermék részarány (14,8%): 11,8% kukorica DDGS, 3% szójahéjpellet a növendék fázisban

⁵NMT1: nagy melléktermék részarány (26,8%): 14,2% kukorica DDGS, 0,6% szójahéjpellet, 10% búzakorpa, 2% cukorrépapellet a növendék fázisban

⁶KMT2: közepes melléktermék részarány (19,7%): 15% kukorica DDGS, 4,7% szójahéjpellet a hízó fázisban

⁷NMT2: nagy melléktermék részarány (32,8%): 15% kukorica DDGS, 0,8% szójahéjpellet, 15% búzakorpa, 2% cukorrépapellet a hízó fázisban

⁸Opticell C5 koncentrált rostforrás: nyersrost: 660 g/kg szárazanyag, NDF: 854 g/kg szárazanyag, ADF: 725 g/kg szárazanyag, ADL: 82 g/kg szárazanyag (Agromed Austria GmbH, Kremsmünster, Ausztria)

⁹A premix vitamin-, ásványianyag-, és adalékanyag-tartalma: A-vitamin: 650 000 NE/kg; D₃-vitamin: 88 000 NE/kg; E-vitamin (alfa-tokoferol): 10 000 mg; Mangán (Mangán-oxid): 4 000 mg; Cink (Cink-szulfát): 11 000 mg; Vas (Vaskarbonát): 8 800 mg; Réz (Rézszulfát): 941,3 mg; Szelén (Nátrium-selenit): 29,98 mg; Jód (Kalcium-jodát): 56,2 mg; Kobalt (Kobalt-szulfát): 44,8 mg, Glükánáz 150 000 U; Xilanáz 122 000 U; Fitáz 100 000 FTU

¹⁰Bonafarm-Bábolna Takarmányipari Kft., Nagyigmánd, Magyarország

¹¹SID: standardized ileal digestible, standardizált ileális emészthetőség

4.1.2.2. Alkalmazott analitikai módszerek

A vizsgálatban etetett takarmánykeverék fontosabb táplálóanyag-tartalmát előzetes kémiai vizsgálattal ellenőriztük, melynek mért értékei szinkronban voltak a számított értékekkel. A takarmánykeverék szárazanyag-, nyersfehérje- és nyersrost-tartalmát a magyar szabvány alapján mértük, szárazanyag tartalmát a MSZ ISO 6496:2001, a nyersfehérje- és nyersrost tartalmát a 152/2009/EK Rendelet alapján értékeltük. A savdetergens rost- (ADF) és a neutrális detergens rosttartalom (NDF) elemzése a Van Soest féle módszerrel (1979) történt, a Magyar Takarmánykódex 1990. II. 8.2. fejezetében ismertetett módszerek alapján.

4.1.2.3. Alapadatok felvétele

A 67 napig tartó kísérlet során a növendék- és hízósertéseket kéthetente egyedileg mértük. Az elfogyasztott takarmányt folyamatosan, kutricánként mértük, ami lehetővé tette a napi takarmány-felvétel megállapítását.

A sertések **takarmányfelvételét** (kg/nap/sertés) az alábbi módon számoltuk:

$$\text{Kéthetente bemért takarmány (kg) – visszamért takarmány (kg)}$$

Ebből kalkuláltuk a sertések **átlagos napi takarmányfelvételét** (kg/nap/sertés) az alábbi módon:

$$\frac{\text{Kéthetente bemért takarmány (kg) – visszamért takarmány (kg)}}{\text{mérések között eltelt napok száma (14 nap)}}$$

A sertések **átlagos napi súlygyarapodását** (kg/nap/sertés) az alábbi módon kalkuláltuk:

$$\frac{\text{Kéthetente mért befejező élősúly (kg) – kéthetente mért kezdő élősúly (kg)}}{\text{mérések között eltelt napok száma (14 nap)}}$$

A vizsgálatban a sertések **súlygyarapodás/takarmányfelvétel hányadosát** (kg/kg) a következő módszerrel számoltuk:

$$\frac{\text{Kéthetente mért befejező élősúly (kg) – kéthetente mért kezdő élősúly (kg)}}{\text{Kéthetente bemért takarmány (kg) – visszamért takarmány (kg)}}$$

4.1.2.4. Alkalmazott statisztika

A teljesítményadatok kiértékelésére a választott statisztikai módszerek a következők voltak: Kolmogorov–Smirnov teszt, Levene-teszt, többtényezős varianciaanalízis (GLM – General Linear Model) (SPSS 26.0, IBM, Armonk, NY, USA). A GLM (Univariate) teszt

során értékeltük a takarmány, az ivar és az ivar \times takarmány interakció hatásait a vizsgált termelési mutatókra. A megfigyelt átlagok többszörös összehasonlítására a Bonferroni post hoc tesztet alkalmaztuk. A táblázatokban szereplő értékeket középérték \pm SEM formájában mutatjuk be. A választott szignifikancia szint $P \leq 0,05$ volt.

4.2. A rost emésztőrendszerre gyakorolt hatásának monitorozása a simaizomszövet elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) vizsgálatával növendéksertésben

A kísérleteket három lépésben végeztük, aminek részleteit az 5. táblázatban tüntettem fel.

Első, pilot kísérletünkben a miográfiás mérőműszer alkalmazhatóságát teszteltük növendéksertésben. Tudomásunk szerint gazdasági haszonállatok esetében, éber állapotban, a gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetének elektromiográfiás (SMEMG) illetve elektrogasztrográfiás (EGG) vizsgálati módja nem terjedt el takarmányozási kísérletekben. Ebből adódóan nem állt rendelkezésünkre bevált és széleskörben alkalmazott kísérleti metodika e mérési módszer teszteléséhez.

Az általunk használt mérőeszközt ugyanis eddig humán kísérletekben (Fekete, 2014) alkalmazták, illetve patkányokban bőr alá rögzítve (műtéti beavatkozással) (Sziucs és mtsai, 2016; 2017). Először adaptálnunk kellett a mérőrendszert és annak eszközeit a sertéshez és meg kellett teremtenünk a mérés elvégzésének lehetőségeit a sertéstartás körülményeihez és a sertés anatómia felépítéséhez, illetve mozgásigényéhez (szabad mozgás biztosítása) igazodva. A mérések során vizsgáltuk, hogy detektálhatóak-e az emésztőtraktus simaizom szövet rétegeiben jelentkező akciós potenciálok és potenciálváltozások alattott, a mérés időszaka alatt takarmányt nem fogyasztó sertés esetében különböző az emésztőtraktus simaizom szövetére ható gyógykészítmények hatására (4.2.1).

A második kísérletben nagy rosttartalmú takarmány emésztőrendszer simaizomszövetére gyakorolt hatását vizsgáltuk anyagcsereketrecben elhelyezett növendék sertések esetében. Kidolgoztuk a mérőműszer és elektródák rögzítését, illetve meghatároztuk az ideális mérési időt, mely során elegendő adat gyűjthető az emésztőtraktusban végbemenő elektromos hullámok változásairól. A kísérlet során gyűjtött vizuális adatokat (2D, 3D) és mért potenciálváltozásokat értékeltük (4.2.2.).

A pilot, illetve a bevezető takarmányozási kísérletek tapasztalatai alapján a harmadik kísérletben szintén a nagy rosttartalmú takarmányozás hatását vizsgáltuk éber, szabadon

mozgó növendék sertésekben. Nagyobb egyedszám (n=9) mellett, két műszerrel végeztük párhuzamosan a miográfiás méréseket (4.2.3.)

5. táblázat: A miográfiás mérések során beállított kísérletek mérési menete, a vizsgált paraméterek valamint értékelési módszertan

	1. kísérlet	2. kísérlet	3. kísérlet
Állapot	altatott	éber	éber
Elhelyezés	egyedi kutrica	anyagcsere ketrec	egyedi kutrica
Egyedszám (n)	1	3	9
Mérési idő/egyed	10 perc	6 óra	4 óra
Ismétlések száma	2	3	2
Elektrodák száma	5	5	3
Elektrodák felhelyezése	2-2 elektróda has jobb és bal oldalán, 1 semleges elektróda bal comb	2-2 elektróda has jobb és bal oldalán, 1 semleges elektróda bal comb	1-1 elektróda has jobb és bal oldalán, 1 semleges elektróda jobb comb
Elektrodák, vezetékek és holter rögzítése	sertés mellett szabadon, ragasztás nélkül	Elektrodák, vezetékek a sertés bőr felületére rögzítve, holter anyagcsere ketrec tetején	Speciális hám a sertésen, holter a hám felső zsebében, elektrodák és vezetékek a sertés bőr felületére ragasztva
Kezelés	-	Kontroll: hagyományos szója-kukorica alapú keverék takarmány (2,8% nyersrost) Kísérleti: hagyományos szója-kukorica alapú keverék takarmány +4,0% Opticell C5 kiegészítés (4,7% nyersrosttartalmú takarmány)	Kontroll: hagyományos szója-kukorica alapú keverék takarmány (2,9% nyersrost) Kísérleti: hagyományos szója-kukorica alapú keverék takarmány +3,9% Opticell C5 kiegészítés (4,9% nyersrosttartalmú takarmány)
Értékelt adatok	-	cpm, Y max	cpm, PsD _{max} abszolút értékei
Értékelési mód	grafikus	grafikus, statisztikai	grafikus, statisztikai, szervspecifikus frekvencia szűréssel

4.2.1. Miográfiás mérőműszer alkalmazhatóságának vizsgálata sertés esetében

4.2.1.1. Kísérleti állat és elhelyezése

Pilot kísérletünket 1 egyeddel (n=1, ML×MNF ártány, életkor: 48 nap, testtömeg: 25 kg) végeztük. A vizsgálat elvégzéséhez szükséges állatkísérleti projekt engedély száma: VIII-1-001/01854/2014 volt.

Az állatot a mérés előtt és után egyedi kutricában helyeztük el (2 m²/egyed). A miográfiás mérést altatásban végeztük.

A mérést megelőzően és utána a sertés a napi takarmányadagját két részletben kapta meg (7.00 és 14.00 óra), amely hagyományos extrahált szója-kukorica alapú növendék sertés takarmány volt. Az ivóvizet *ad libitum* biztosítottuk.

4.2.1.2. Miográfiás mérés menete

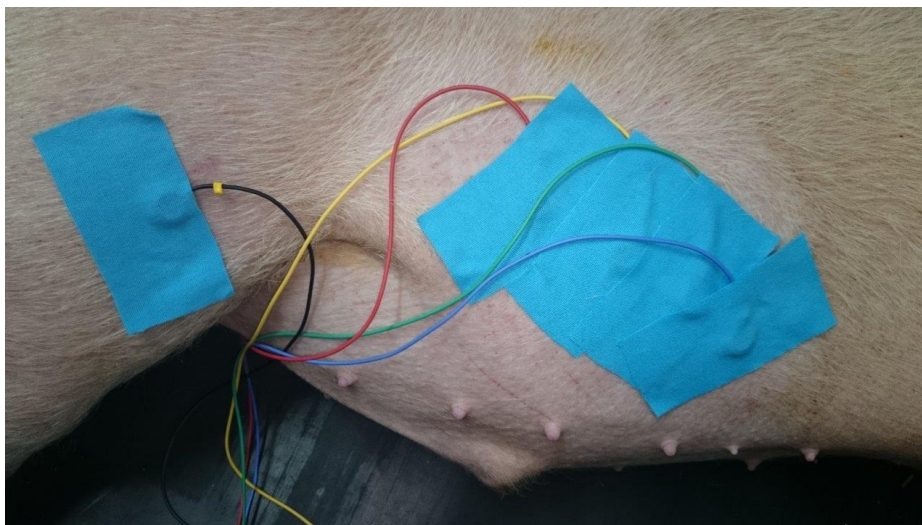
A kísérletbe vont egyed a miográfiás mérés előtt altattuk (Stresnil injekció A.U.V., gyártó: Janssen Pharmaceutica Ltd., forgalmazó: Lifescan Janssen-Cilag, Gyógyszerkereskedelmi Kft.). Altatást követően a hasfal mindkét oldalát és a bal comb területét borotváltuk és fertőtlenítettük. A elektromos hullámok detektálásához egyszer használatos Ag/AgCl elektródákat (Electrode PE Foam Solidgel, Bio Lead-Lok B Sp. Zo.o, Józsefów, Lengyelország) használtunk. A mérőelektródákat először a hasfal bal oldalán, míg a semleges elektródát a bal combon rögzítettük. Az egyed jobb és bal oldalán rögzített elektródák adatait külön gyűjtöttük és értékeltük (1. mérés: bal oldal, 2. mérés: jobb oldal). A hasfalon az elektródákat 10 cm-re a gerinc vonalától lefelé helyeztük fel, a semleges elektródát a bal comb alsó részére rögzítettük (*1. kép*). A miográfiás mérést EGIG holter készülék használatával végeztük el (MSB-MET Kft., Balatonfüred). A holter készülék vezetékeken keresztül csatlakozott az állat bőrfelületére felhelyezett elektródákhoz. A holter gyűjtötte és tárolta a rögzített elektromos jeleket, az adatokat a vizsgálat közben számítógépen jelenítettük meg és folyamatosan monitoroztuk a gyűjtött elektromos hullámok alakulását.

Az első mérést (1. Mérés) a kísérleti egyed bal oldalán végeztük. Az elektródák felhelyezése után az emésztőtraktusra jellemző nyugalmi szakaszt rögzítettük. Ezt követően 5 ml Buscopan compositum A.U.V. injekciót adagoltunk intramuszkulárisan (gyártó: Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH, Németország; forgalmazó: Boehringer Ingelheim RCV GmbH & Co. KG Magyarország Kft., Magyarország). Az alkalmazott készítmény az emésztőtraktus simaizom szövetének aktivitását és a bélperisztaltikát csökkenti a hioszcin butil bromid + dipiron hatóanyagoknak köszönhetően, így rögzíthető volt egy „lassító” fázis. A mérési idő 10 perc volt.

A „lassító” fázis rögzítését követően, a „gyorsító” fázisban 25 mg/kg metoklopramid (Szelenyi és mtsai, 1994) hatóanyag hatását teszteltük a miográfiás mérőeszköz segítségével. A kiválasztott hatóanyag az emésztőtraktus simaizom szövetének aktivitását és az összehúzóásokat fokozta, így detektálható volt egy „gyorsító” fázis. A mérési idő szintén 10 perc volt.

A második kísérleti mérést (2. Mérés) az 1. Mérés metodikájának megfelelően hajtottuk végre a kísérleti egyed jobb oldalán történő elektromos hullámok detektálásával. Azonos gyógykészítményeket és mérési időt alkalmaztunk, mint az 1. Mérés során. A zöld és

kék színű elektródákat áthelyeztük a sertés jobb oldalára, a sárga és piros elektródák a bal oldalon maradtak az 1. Mérés felhelyezésének megfelelően, a semleges elektróda szintén maradt a bal combon.



1. kép: Elektródák helyzete a miográfiás mérésnél (Saját fotó)

Fekete elektróda: semleges elektróda

Sárga, piros, zöld és kék elektródák: az emésztő traktust alkotó simaizom összehúzódások detektálására alkalmas elektródák – mérést végző elektródák

4.2.1.3. Alkalmazott értékelési módszerek

A mért és rögzített mioelektrikus primer hullámokat Fast Fourier Transzformációt (FFT analízis) követően az ISO/Myo szoftverrel értékeltük (MDE GmbH, Walldorf, Németország). A rögzített hullámokat a mérés alatt 2D és 3D-ben vizuálisan megjelenítettük és az ISO/Myo szoftverben értékeltük.

4.2.2. A gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetének elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) vizsgálata éber sertésekkel, nagy rosttartalmú takarmányozás mellett anyagcsereketrecben

4.2.2.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük, alkalmazott takarmánykeverékek

A kísérletet 3 egyeddel (n=3, ML×MNF ártány, életkor: 40±2 nap, testtömeg: 27±1 kg) hajtottuk végre két, különböző rosttartalmú takarmány etetésekor. Az etetett takarmánykeverékek összetételét és számított táplálóanyag- és energiatartalmát a 6. táblázatban foglaltuk össze. A kísérleti tápban a nagyobb rosttartalmat 4% Opticell C5 (Agromed Austria GmbH) alkalmazásával értük el. Mind a kontroll mind a kísérleti fázisban

az előtetési szakasz 5 nap volt. A takarmányadagot napi két részletben kapták az állatok (7.00 és 12.00 óra), az ivóvizet *ad libitum* biztosítottuk mindkét szakaszban.

A vizsgálat elvégzéséhez szükséges állatkísérleti projekt engedély száma: VIII-1-001/01854/2014) volt. Az állatokat az előtetési szakaszban egyedi kutricákban helyeztük el (2 m²/egyed). A miográfiás mérés alatt, a mérésben résztvevő egyedek anyagcsereketrecben voltak.

4.2.2.2. Miográfiás mérés menete

A miográfiás mérés ideje alatt, a takarmányfelvétel idejének pontos rögzítése céljából, a kísérleti állat etetése 2 időpontban volt (7.00 és 12.00 óra). A miográfiás mérést egyedileg végeztük, naponta egy állat miográfiás vizsgálatára került sor, 7.00 és 13.00 óra között, a mérési idő egységesen 6 óra volt minden egyed esetében. Minden egyednél háromszoros ismétlésben végeztük el a miográfiás mérést, mindkét szakaszban (kontroll és kísérleti).

A miográfiás mérést EGIG holter készülékkel (MSB-MET Kft., Balatonfüred) éber állapotban végeztük el. A hullámok detektálásához egyszer használatos Ag/AgCl elektródákat (Electrode PE Foam Solidgel, Bio Lead-Lok B Sp. Zo.o, Józefów, Lengyelország) használtunk.

A borotvált és fertőtlenített hasfalon az elektródákat 10 cm-re a gerinc vonalától lefelé helyeztük fel, a semleges elektródát a bal comb alsó részére rögzítettük. A holter készülék vezetékeken keresztül csatlakozott az állat bőrfelületére felhelyezett elektródákhoz, a holter készüléket az állat felett, az anyagcsere ketrec tetején helyeztük el.

6. táblázat: A kísérletben etetett kontroll és kísérleti takarmánykeverékek összetétele és számított táplálóanyag- és energiatartalma

Összetétel, %	Kontroll	Kísérleti
Kukorica	30,60	30,60
Búza	21,70	21,70
Árpa	21,70	17,50
Extrahált szójadara	7,10	7,10
Savópor ¹	4,10	4,10
Full-fat szója	4,10	4,10
Hidegen sajtolt napraforgó olaj ²	2,60	2,60
Halliszt ³	2,00	2,00
Haemoglobin ⁴	2,00	2,00
Opticell C5 ⁵	0	4,00
Premix ⁶	4,10	4,10
Összesen %	100,00	100,00
Kémiai összetétel, %		
Szárazanyag ⁷	88,88	89,03
Nyersfehérje ⁷	16,58	16,19
Nyerszír ⁷	6,60	6,52
Nyersrost⁷	2,90	4,90
NDF ⁷	11,86	14,70
ADF ⁷	4,89	7,50
ADL ⁷	0,73	0,70
Nyershamu ⁷	5,01	5,00
Kalcium ⁸	0,76	0,77
Foszfor ⁸	0,44	0,43
Nátrium ⁸	0,31	0,31
SID Lizin ⁸	1,07	1,06
SID Metionin+Cisztin ⁵	0,54	0,53
SID Treonin ⁵	0,71	0,70
SID Triptofán ⁵	0,21	0,20
DE _s ⁵ (MJ/kg takarmány)	15,33	14,87
ME _s ⁵ (MJ/kg takarmány)	14,67	14,23

¹Sloten B.V.

²Mester és Major Kft.

^{3,4}Panadditív Kft.

⁵Opticell C5 koncentrált rostforrás: nyersrost: 660 g/kg szárazanyag, NDF: 854 g/kg szárazanyag, ADF: 725 g/kg szárazanyag, ADL: 82 g/kg szárazanyag (Agromed Austria GmbH, Kremsmünster, Ausztria)

⁶Agrofeed Kft.

⁷Analizált értékek

⁸Kalkulált értékek (SID Lizin: standardizált ileálisan emészthető lizin; SID metionin+cisztin: standardizált ileális emészthető metionin+cisztin, SID treonin: standardizált ileális emészthető treonin; SID triptofán: standardizált ileális emészthető triptofán; DE_s: emészthető energia, sertés; ME_s: metabolizálható energia, sertés).

4.2.2.3. Alkalmazott értékelési módszerek és statisztika

A mért és rögzített myoelektrikus primer hullámokat FFT analízist követően az ISO/Myo (MDE GmbH, Walldorf, Németország) szoftverrel értékeltük.

A statisztikai kiértékeléshez az SPSS 19.0 (IBM, Armonk, NY, USA) programcsomagot használtuk. Az eredmények elemzése során leíró módszereket,

grafikonokat és próbastatisztikákat alkalmaztunk. A leíró statisztika folytonos változók esetén az esetszámot, átlagot, szórást, minimumot, mediánt és maximumot tartalmazta. Kategoriális változók esetén az esetszám és az előfordulási gyakoriság szerepelt. Minden kísérletbe vont egyed mérési sorozata során Wilcoxon-próbával hasonlítottuk össze a kísérleti és a kontroll adatsorokat. A kontroll és a kísérleti takarmány összehasonlítására ismétléses varianciaanalízist is végeztünk, a modellbe változóként vontuk be a vizsgált állatot és a mérési sorozatot.

4.2.3. Nagy rosttartalmú takarmány etetésének hatása a gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetére (Smooth muscle electromyography - SMEMG) éber, szabadon mozgó növendék sertések esetében

4.2.3.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük, alkalmazott takarmánykeverékek

A kísérletbe vont állatokat az Európai Unió Tanácsa (2018/63/EU) és az Állatok védelméről és kutatásban való részvételéről szóló magyar törvény (XXVIII. Törvény 32. cikke) alapján vontuk be kísérletünkbe. Az összes kísérletbe vont állat elhelyezését, takarmányozását és gondozását a Magyar Állatkutató Etikai Bizottság jóváhagyásával hajtottuk végre (nyilvántartási szám: VIII-I-001/01854-0005/2014).

A miográfiás méréseket 9 (n=9, [(dán lapály×dán nagyfehér)×dán duroc], életkor: 72±3 nap, átlagos testtömeg: 30±3 kg) ártány egyeddel végeztük. Az állatokat egyedi kutricában helyeztük el (1 egyed/kutrica, 1m²/kutrica) alom nélkül, az ivóvíz *ad libitum* volt biztosítva.

A kontroll takarmány hagyományos extrahált-szója és kukorica alapú takarmány volt. A kísérleti takarmány 4% Opticell rostkiegészítést tartalmazott. A kísérletben alkalmazott takarmánykeverékek összetételét és számított táplálóanyag- és energiatartalmát a 7. táblázat tartalmazza.

Az állatok két egyenlő adagban kapták a napi takarmánymennyiséget, a takarmányadag az életfenntartási energiaigényük 2,8-szorosát fedezte (450 kJ ME_s /kg^{0,75}/nap). A napi takarmány mennyiségét az állatok testsúlya alapján számoltuk (a kísérletbe vont sertéseket minden héten egyedileg mértük, az egyedi takarmányadagot a testtömegükhöz igazítottuk). A sertéseket 7.00-kor és 12.00-kor etettük.

7. táblázat: A kontroll és kísérleti takarmányok összetétele és számított táplálóanyag- és energiatartalma

Összetétel, %	Kontroll	Kísérleti
Búza	30,77	29,54
Kukorica	25,65	24,70
Árpa	20,00	19,20
Extrahált szójadara (46% nyersfehérje)	18,80	18,10
Premix ¹	1,25	1,25
Növényi olaj ²	1,20	1,12
Takarmánymész	1,05	1,01
MCP	0,65	0,62
L-Lizin-HCl (78%)	0,48	0,46
DL-Metionin (99%)	0,06	0,06
L-Treonin (99%)	0,06	0,06
L-Triptofán (98,5%)	0,02	0,02
Opticell C5 ³	-	3,86
Összesen %	100,00	100,00
Kémiai összetétel (%)		
Szárazanyag ⁴	88,90	89,10
Nyersfehérje ⁴	17,20	16,70
Nyerszsír ⁴	3,30	3,30
Nyersrost⁴	2,90	4,90
NDF ⁴	11,86	14,70
ADF ⁴	4,89	7,50
ADL ⁴	0,73	0,70
Nyershamu ⁴	4,20	4,30
Kalcium ⁵	0,66	0,64
Foszfor ⁵	0,55	0,48
Nátrium ⁵	0,20	0,20
SID Lizin ⁵	1,05	1,01
SID Metionin+Cisztin ⁵	0,66	0,64
SID Treonin ⁵	0,70	0,68
SID Triptofán ⁵	0,21	0,20
DE _s ⁵ (MJ/kg takarmány)	14,17	13,67
ME _s ⁵ (MJ/kg takarmány)	13,60	13,12

¹Garantált mennyiség/takarmány kg: A vitamin: 16 000 IU; D vitamin: 2500 IU; E vitamin: 80,0 mg; K vitamin: 2,0 mg; tiamin: 2,0 mg; riboflavin: 6,0 mg; niacin: 30,0 mg; pantoténsav: 14,0 mg; piridoxin: 4,0 mg; folsav: 1,0 mg; B12 vitamin: 0,03 mg; jód: 0,7 mg (kalcium-jodát); szelén: 0,4 (magnézium-nátrium szelenit); cink: 120,0 mg (cink-szulfát fém-poliszacharid-komplexei); vas: 90,0 mg (vas(II)-karbonát); mangán: 50,0 mg (mangán-szulfát); réz: 95,0 mg (réz-szulfát)

²Bonafarm-Bábolna Kft., Nagyigmánd, Magyarország

³Opticell C5 koncentrált rostforrás: nyersrost: 660 g/kg szárazanyag, NDF: 854 g/kg szárazanyag, ADF: 725 g/kg szárazanyag, ADL: 82 g/kg szárazanyag (Agromed Austria GmbH, Kremsmünster, Ausztria)

⁴Analizált értékek

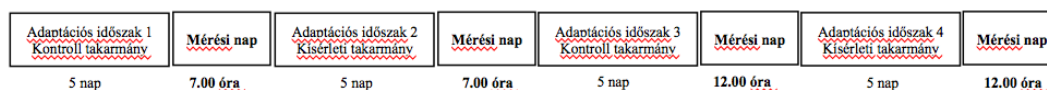
⁵Kalkulált értékek (SID Lizin: standardizált ileálisan emészthető lizin; SID metionin+cisztin: standardizált ileális emészthető metionin+cisztin, SID treonin: standardizált ileális emészthető treonin; SID triptofán: standardizált ileális emészthető triptofán; DE_s: emészthető energia, sertés; ME_s: metabolizálható energia, sertés).

4.2.3.2. Miográfiás mérés

A miográfiás mérést végző EGIG holter készüléket vezetékeken keresztül csatlakoztattuk az állat bőrfelületére felhelyezett elektródákhoz, a korábbi kísérleteknek megfelelően, azonban ebben a kísérletben összesen 3 elektródát alkalmaztunk. A hasüreg mindkét oldalára felhelyeztünk 1-1 elektródát, illetve 1 elektródát alkalmaztunk ún. semleges elektródaként a combra rögzítve. Az elektródák számát eredményesen tudtuk csökkenteni ezáltal. Ez nagyban megkönnyítette a mérés technikai kivitelezhetőségét éber, szabadon mozgó állat esetében.

A mérések során ki tudtuk iktatni az anyagcsereketrec használatát is, az állatok szabadon mozoghattak a kutricában, így nem voltak akadályoztatva a mérőműszer felhelyezése és viselése által a mozgásban, a takarmány- és ívóvíz-felvételben. Ezt egy speciális, tágulékony pamut anyagból készült „hám” segítségével tudtuk megoldani, mely az állatok egyedi testméretére készült saját tervezés alapján. A hám felhelyezéséhez az állatokat a vizsgálat előtt folyamatosan hozzászoktattuk, hogy a kísérlet során a rögzített mérések alkalmával ne okozzunk felesleges stresszhatást az egyedeknek. A hám használatával a holter és az elektródák közötti vezetékek szükséges hosszúságát is jelentősen csökkenteni tudtuk, így a vezetékeket egészen a holterig ragasztószalaggal tudtuk rögzíteni az állat bőrfelületére. A ragasztószalagok a mérések teljes időszaka alatt a bőrfelületen maradtak.

A miográfiás méréseket két műszerrel párhuzamosan végeztük, minden nap 4 egyed mérésére került sor (7.00 és 12.00 órakor), kísérleti kezelésként 2 egyed/kezelés/nap. A mérési idő hossza 4 óra volt. A kísérleti mérések menetét a 4. ábra mutatja. A teljesen véletlen elrendezésben a kísérleti egyedek a kontroll és kísérleti takarmányt felváltva, kezelésként két ismétlésben fogyasztották. Mindkét kezelés esetén az előtetetés 5 nap volt.



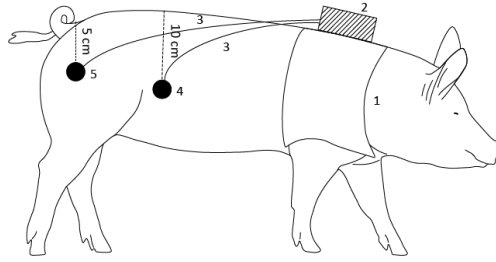
Kontroll takarmány: alacsony nyersrosttartalmú (29 g/takarmány kg), extrahált szója és kukorica alapú takarmány

Kísérleti takarmány: nagy nyersrosttartalmú (49 g/takarmány kg) extrahált szója és kukorica alapú + 4% Opticell-t (Agromed Austria GmbH, Kermsmünster, Ausztria) tartalmazó takarmány

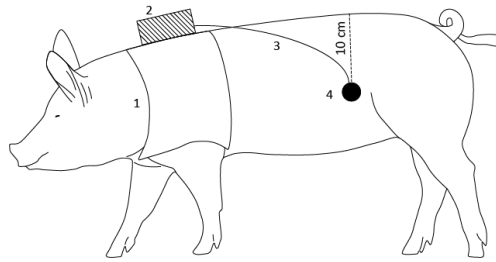
4. ábra: A miográfiás mérések kísérleti beosztása (n=9)

A SMEMG méréseknél a műszer, valamint az elektródák elhelyezését az 5. ábra mutatja.

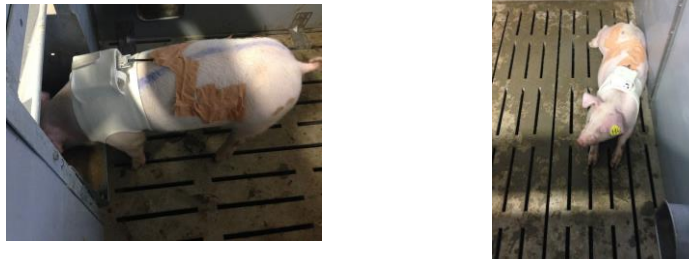
(A)



(B)



(C)



(A): álló állatnál jobb oldalról; (B): álló állatnál bal oldalról; (C): fotó használat közben bal oldalról (bal) és szabadon mozgó sertés esetében (jobb).

1: öv; 2: holter rész; 3: kábel az elektródákhoz; 4: elektróda; 5: semleges elektróda.

5. ábra: A SMEMG mérőműszer felhelyezése éber, szabadon mozgó sertésen

A mérést az egyedi takarmánykiosztáskor kezdtük (7.00 vagy 12.00 óra). A mérések előtt megtisztítottuk a hasfal és a comb epigasztrikus területét, és a bőrt finoman megborotváltuk és fertőtlenítettük. Az Ag/AgCl elektródákat (Electrode PE Foam Solidgel, Bio Lead-Lok B Sp. Zo.o, Józsefów, Lengyelország) műtét nélkül ragasztó szalagokkal (Leukoplast 5 cm, BSN medical GmbH, Hamburg, Németország) rögzítettük a bőr felületén. Ten20 EEG vezetőképes gélt (Bio-Medical Instruments, USA) használtunk, hogy biztosítsuk az elektródák megfelelő vezetőképességét. Az elektródapárokat (2 elektróda) a hasfal jobb és bal oldalához rögzítettük, 10 cm-re oldalirányban a gerinctől, míg a semleges elektródát a jobb combra helyeztük, a faroktól 5 cm-re. Az elektródák rögzítésére és védelmére, valamint a mioelektromos jeleket rögzítő és tároló tartószerkezet rögzítésére speciális öv (hám) került kialakításra (5. ábra).

4.2.2.3. Alkalmazott értékelési módszerek és statisztika

A mért és rögzített myoelektrikus primer hullámokat FFT analízist követően az ISO/Myo (MDE GmbH, Walldorf, Németország) szoftverrel értékeltük.

Az elektromos jeleket számítógépen rögzítettük és a S.P.E.L. Advanced ISOSYS Data Acquisition System szoftverrel elemeztük (MDE GmbH, Walldorf, Németország). A SMEMG jelek erősítésére egyedi tervezésű és gyártmányú erősítőt alkalmaztunk, melyet az MDE GmbH (Walldorf, Németország) tervezett. Kettős szűrőrendszert használtunk az elektromos zaj („artefakt”) csökkentésére. Az összes analóg jelet egy elsődleges Bessel-típusú aluláteresztő szűrővel előszűrtünk, és digitális jelekké alakítottuk 2 Hz-es mintavételi frekvencia tartományban 80 dB/tized meredekséggel. Az előszűrt mioelektromos jeleket ezután Bessel-típusú sáváteresztő szűrőkkel tovább szűrtük, 0-30 ciklus per perc frekvenciával, 140 dB/tized meredekséggel. A rögzített jeleket Fast Fourier transzformációval (FFT) elemeztük. Az elektromos aktivitást cpm értékkel jellemeztük (circle per minutes – ciklus per perc), és az aktivitás nagyságát a teljesítmény spektrumsűrűség (PsD_{max}) maximálisaként írtuk le. A meghatározott cpm és PsD_{max} értékeket t-próbával hasonlítottuk össze a Prism 5.0 számítógépes programcsomag segítségével. (GraphPad Software, USA). Valamennyi statisztikai vizsgálat során a választott szignifikancia szint $p \leq 0,05$ volt.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. A nagy rosttartalmú ipari melléktermék alapú takarmánykeverékek etetésének hatása a növedék- és hízósertések termelési mutatóira

5.1.1. Analitikai elemző vizsgálatok a hazai növedéksertés takarmánykeverékek nyersrosttartalmára illetve az egyes rostfrakciók mennyiségére vonatkozóan

A vizsgálatba vont, 30 és 70 kg közötti élősúlyú növedéksertések által fogyasztott takarmánykeverékek nyersrosttartalmát a 8. táblázatban összegeztük.

A vizsgált 22 takarmánymintából a receptúrakészítés során 19 esetben törekedtek a legalább 35 g/kg nyersrosttartalom (*Magyar Takarmánykódex*, 2004) biztosítására. A minták többségében a számított nyersrosttartalom az ajánlott szintnél nagyobb volt. A hazai gyakorlat ezek szerint a magyarországi ajánlást minimum értéknek tekinti és valamivel nagyobb nyersrosttartalmú takarmányok összeállítását részesíti előnyben a növedék sertés korcsoport számára a receptúraösszeállítás során, különösen az „A” genotípus esetében.

A kémiai elemzések adatai szerint a minták nyersrosttartalma 22,2 és 73,9 g/kg között változott, átlagosan $36,1 \pm 10,4$ g/kg volt, ami megfelel a *Magyar Takarmánykódex* (2004) ajánlásának. NIRS készülékkel mérve a nyersrosttartalom 24,0 és 76,7 g/kg közötti, átlagértéke $39,5 \pm 12,3$ g/kg. Az analizált értékek és a számított adatok összehasonlításakor különböző mértékű eltérést találtunk. A számított és a kémiai vizsgálat alapján kapott nyersrosttartalom értékei között abszolút értékben -6,2 g/kg eltérés, míg a számított nyersrost és a NIRS eredmények között 7,3 g/kg (n=22) különbség volt.

A kémiai módszerrel meghatározott és a számított nyersrosttartalom esetében a MSPE érték 67,06; a relatív hiba (relMSPE) 0,227 volt. Amennyiben az MPSE értéke kicsi, akkor a modell jó pontossággal becsli a vizsgált mutatót.

8. táblázat: A takarmánykeverékek számított és mért (kémiai, NIRS) nyersrosttartalma és a vizsgálati módszerek közötti eltérés (g/kg takarmány)

Genotípus ¹	Nyersrost, g/kg takarmány				
	Számított (SZ)	Kémiai ² (K)	K-SZ ³	NIRS ⁴	NIRS-SZ ⁵
A	50,4	73,9	23,5	76,0	25,6
A	38,4	46,3	7,9	38,0	-0,4
A	37,3	36,0	-1,3	44,0	6,7
A	36,3	35,1	-1,2	40,0	3,7
A	33,9	31,1	-2,9	33,0	-0,9
A	44,7	35,7	-9,0	33,0	-11,7
A	40,3	40,4	0,1	40,0	-0,3
A	40,6	35,8	-4,9	29,0	-11,6
A	36,2	39,3	3,0	39,0	2,8
A	39,4	25,7	-13,7	42,0	2,6
A	37,7	28,5	-9,3	47,0	9,3
A	43,6	32,5	-11,1	56,0	12,4
A	37,8	31,8	-6,0	45,0	7,2
A	43,0	42,1	-1,0	35,0	-8,0
A	37,4	30,3	-7,1	40,0	2,6
Átlag	39,8±4,2	37,6±11,4	-2,2 ⁶ ±6,2	42,5±11,4	2,7 ⁷ ±6,6
Minimum	33,9	25,7	0,1 ⁸	29,0	0,3 ⁹
Maximum	50,4	73,9	23,5 ¹⁰	76,0	25,6 ¹¹
Genotípus	Nyersrost, g/kg takarmány				
	Számított (SZ)	Kémiai ² (K)	K-SZ ³	NIRS ⁴	NIRS-SZ ⁵
B	43,0	36,4	-6,6	43,0	0
B	35,3	25,6	-9,7	24,0	-11,3
B	31,3	28,1	-3,2	24,0	-7,3
B	32,0	22,2	-9,9	24,0	-8,0
B	37,6	35,0	-2,7	26,0	-11,6
B	43,2	44,0	0,8	56,0	12,8
B	39,1	37,7	-1,4	35,0	-4,1
Átlag	37,4±4,8	32,7±7,7	-4,9 ⁶ ±3,8	33,1±12,4	7,9 ⁷ ±4,6
Minimum	31,3	22,2	0,8 ⁸	24,0	0 ⁹
Maximum	43,2	44,0	9,9 ¹⁰	56,0	12,8 ¹¹
Átlag ¹²	39,0±4,4	36,1±10,4	-6,2 ⁶ ±5,5	39,5±12,3	7,3 ⁷ ±6,1
Minimum ¹²	31,3	22,2	-	24,0	-
Maximum ¹²	50,4	73,9	-	76,7	-

¹„A” genotípus: hibridek és más nagy teljesítményre képes keresztezések; „B” genotípus: tisztavérűek és keresztezései

²Kémiai vizsgálat (MSZ 6830-7)

³Kémiai vizsgálat által mért nyersrosttartalom és a receptúra alapján számított nyersrosttartalom különbsége

⁴FOSS NIRS™ DA 1650 Takarmány analízátor

⁵FOSS NIRS™ DA 1650 Takarmány analízátor által mért nyersrosttartalom és a meghatározott receptúra alapján számított nyersrosttartalom különbsége

⁶Eltérések átlaga abszolút értékben a kémiai és a számított eredmények között

⁷Eltérések átlaga abszolút értékben a NIRS és a számított eredmények között

⁸Eltérések minimuma abszolút értékben a kémiai és a számított eredmények között

⁹Eltérések minimuma abszolút értékben a NIRS és a számított eredmények között

¹⁰Eltérések maximuma abszolút értékben a kémiai és a számított eredmények között

¹¹Eltérések maximuma abszolút értékben a NIRS és a számított eredmények között

¹²„A” és „B” genotípusú egyedek esetén, n=22

A relMSPE érték a mutatók közötti különbséget tükrözi, tehát a számított és mért adatok összességében 22,7% hibával terheltek. A mért és számított adatok átlaga csak kismértékben tér el egymástól ($A = 13,0\%$) és a hiba regressziós komponense is viszonylag kicsi ($R = 14,5\%$), így a relatív hiba a számított és a mért értékek nem megfeleltethetőségéből származik elsősorban. Ez azt jelenti, hogy a receptúrakészítés során kiszámolt nyersrosttartalom hibájának nagysága független a takarmányban lévő, kémiai vizsgálattal meghatározott nyersrost mennyiségétől. Az analitikai vizsgálatok (kémiai, NIRS) eredménye és a számított nyersrosttartalom közötti különbség oka többféle lehet. Egyrészt a különböző takarmánygyártó- és forgalmazó cégek, bár általában rendelkeznek saját takarmányvizsgáló laboratóriummal, és az adatbázisukat folyamatosan frissítik, azonban nem feltétlenül aktualizálják a receptúrát minden egyes új tétel esetében. Így eltérő lehet az alapanyagok, ezen belül a melléktermékek táplálóanyag-tartalma is, tételenként és gyártási technológiától függően. A különbség másik oka a nyersrost meghatározás, korábban, az irodalmi áttekintésnél már részletezett hibája vagy pontatlansága. A melléktermékben és a takarmánykeverékben található hemicellulóz- és oldható rosttartalom befolyásolja a nyersrostmérés eredményét. A számított és mért értékek közti különbség függ az adott melléktermék hemicellulóz-tartalmától, és a melléktermék arányától a receptúrában.

A nyersrosttartalom a kémiai vizsgálatnál 9 mintában, míg a NIRS készülékkel végzett elemzés során 7 mintában nem érte el a *Magyar Takarmánykódex* (2004) által növendék/hízó sertések számára ajánlott 35 g/kg értéket.

A kémiai és a NIRS analízis eredményét genotípusonként elemezve kitűnik, hogy mindkét módszerrel mérve a „B” genotípus tápjaiban a nyersrosttartalom kisebb volt az ajánlott 35 g/kg szintnél. Az „A” genotípus takarmánykeverék-mintáiban jól lehet a számított érték is valamivel nagyobb volt (39,8 vs. 37,4 g/kg), de a kétféle analitikai módszerrel mért nyersrosttartalom markánsan nagyobb volt. Különösen nagy eltérést tapasztaltunk a NIRS analízissel mért értékek között, 42,5 illetve 33,1 g/kg. Fontos hangsúlyozni, hogy a nagy szórásérékek miatt a számított, a kémiai és a NIRS átlagadatok között nem volt szignifikáns eltérés ($p=0,44$).

A számított és mért értékek összehasonlításakor feltétlenül tekintetbe kell venni a 767/2009/EK rendeletet. E szerint 5 és 15% közötti nyersrosttartalom esetén a feltüntetett tartalom 15%-a, illetve 5%-nál kisebb nyersrosttartalomnál 0,8 egység eltérés engedélyezett valamely takarmány-alapanyag vagy keveréktakarmány címkéjén feltüntetett összetétel és a valós, mért eredmények között. A rendelet által megadott eltérések szerint elemezve mérési

adatainkat kitűnik, hogy a kémiai vizsgálatoknál 2 minta, míg a NIRS eredményeknél 3 minta felel meg az előírásoknak. A nem megengedett eltérések alapján a kémiai analízisek során 17 mintában kisebb, 3 mintánál pedig a számított értéket meghaladó nyersrosttartalmat mértünk. A NIRS módszerrel mérve 10 mintában a számított értéknél nagyobb és 9 minta annál kisebb értéket mutatott.

Korrelációs vizsgálatot is végeztünk az egyes elemzések összehasonlításához. A számított és a kémia vizsgálat nyersrostértékei között a korrelációs koefficiens $R=0,737$ ($p<0,01$) volt. A számított és NIRS összehasonlítása során a korrelációs koefficiens $R=0,719$ ($p<0,01$), valamint a kémiai és NIRS eredmények között a korrelációs koefficiens $R=0,690$ ($p<0,01$). Mindezek alapján még ilyen kevés vizsgálati elemszám mellett ($n=22$) is megállapítható, hogy közepesen erős kapcsolat van a vizsgált paraméterek között. A NIRS vizsgálati mód a sertés takarmánykeverékek esetében alternatív módszer lehet a receptúrák és a késztakarmányok táplálóanyag-tartalmának telepi ellenőrzésére, gyors mérésére. A nem szignifikáns eltérés ellenére tekintettel kell lenni arra a gyakorlatra, hogy a szakemberek a receptúra összeállításakor „óvatosan” kezelik a takarmánykeverék nyersrosttartalmát. Így a kisebb, de még az ajánlott nyersrostszinttel összeállított receptúra alapján készült takarmánykeverék szintén kis mennyiségű nyersrosttartalommal fog rendelkezni és nagy az esélye, hogy már nem éri el a kívánt illetve az EK rendelet által ajánlott értéket. A minták között találtunk olyan takarmánykeverékeket is, melyekben a nyersrosttartalom az ajánlottnál jóval nagyobb értéke példa lehet arra, hogy az ilyen tápokot is sikeresen lehet alkalmazni a hizlalás során. A 9. táblázat adataiból kitűnik, hogy a legnagyobb nyersrosttartalmú (7,4%) tápban 3 különböző, rostban gazdag összetevőt (extrahált napraforgódara, búzakorpa, extrahált repcedara) is alkalmaztak. Figyelemmel kell azonban lenni a különböző rosthordozó takarmányokban a rostfrakciók eltérő mennyiségére. Ez ugyanis jelentős mértékben befolyásolja a táplálóanyagok emészthetőségét. Az analitikai vizsgálatainkat ezért terjesztettük ki a nyersrost mérésén túlmenően az NDF, ADF és ADL meghatározására.

A takarmánykeverékek mért NDF-, ADF- illetve ADL-tartalmát illetve számított hemicellulóz- és cellulóztartalmát (9. táblázat) áttekintve megállapítható, hogy ezen paraméterek értékei rendkívül eltérőek a vizsgált takarmánykeverékekben. A rostforrás NDF- és ADF-tartalma részben hasznosulhat a bakteriális fermentáció során, így sikeresen alkalmazhatunk nagyobb cellulóz- és hemicellulóz-tartalmú alapanyagot is növendék sertések takarmányozásában. A genotípusok szerint elemezve az adatokat kitűnik, hogy az „A” genotípus esetében a 15 táp közül 10-ben használtak legalább egy mellékterméket. A „B”

genotípus 7 tápjából 4 receptúra tartalmazott legalább egy mellékterméket. Százalékosan ezen adatok azt jelentik, hogy az „A” genotípus tápjába valamivel nagyobb (67%) arányban tettek rostban gazdagabb takarmánykomponenst mint a „B”-be (57%). Fontos azonban jelezni, hogy nőtt a takarmánykeverék ADL-tartalma a melléktermékek jelenlétekor. A lignin nem emészthető a gazdasági állatok számára, továbbá bakteriális úton sem értékesül az emésztőrendszerben. A táplálóanyagok emészthetősége romlik nagy lignintartalmú takarmányok etetésekor (*Southgate, 2001; Wenk, 2001*).

A 22 takarmányminta receptúrájában a melléktermékek aránya 3,8% és 14,45% között változott. A mellékterméket tartalmazó takarmánykeverékekben egy (9 takarmányminta) illetve kettő (5 takarmányminta) melléktermék használata volt jellemző. Az általunk vizsgált keverékekben a legjellemzőbb rosthordozó a kukoricacsíra (4-5%), az extrahált repcedara (3-4%), az extrahált napraforgódara (2,5-6,5%) valamint a malomipari melléktermékek közül a búzakarpa (>6%) volt. A hazai gyakorlat még óvatosan kezeli a melléktermékeket, azonban több kutatási eredmény is igazolja a melléktermékek nagyobb arányú felhasználásának előnyeit. *Jha és mtsai (2013)* több, mint 1000 növendék sertéssel végzett kísérletükben (átlagos élősúly $35,3 \pm 0,4$ kg, 74 életnap) kétféle nyersfehérje-tartalmú (alacsony és magas) tápban különböző melléktermékeket (hántolatlan árpa, kukorica DDGS, kukorica-búza DDGS, repcedara, extrudált lenmag és földimogyoró, extrudált repcedara és borsó) eltérő bekeverési szintek (alacsony, közepes, magas) mellett használtak. Alacsony nyersfehérje-, és eltérő melléktermékszintek mellett (alacsony nyersfehérje: 16,9%, alacsony melléktermék: 17,2% NDF; alacsony nyersfehérje: 18,6%, közepes melléktermék: 20,4% NDF; alacsony nyersfehérje: 19,5%, magas melléktermék: 21,7% NDF) nőtt az átlagos napi takarmányfelvétel és az átlagos napi súlygyarapodás ($p < 0,05$) a normál nyersfehérjeszinttel (19,9%; 21,6%; 22,5%) rendelkező, mellékterméket nem tartalmazó takarmánykeveréket fogyasztó állatok eredményével összehasonlítva. Nem változott a takarmányértékesítés eltérő nyersfehérjeszintű tápokban közepes vagy nagy melléktermékarányt alkalmazva. Szintén növendék sertésekkel (átlagos élősúly: $30,3 \pm 0,4$ kg) és különböző melléktermék-keverékekkel (hántolatlan árpa, kukorica DDGS, kukorica-búza DDGS, repcedara, extrudált lenmag és földimogyoró) végzett kísérletben *Jha és mtsai (2013)* öt különböző tápot alkalmazva 2%-ról 50%-ra növelték a melléktermékek arányát az etetett takarmányreceptúrákban (2%; 12,5%; 25%; 37,5%; 50%). A 97 napig tartó kísérletben a növekvő mennyiségű melléktermék nem befolyásolta szignifikáns mértékben az átlagos napi takarmányfelvételt, az átlagos napi súlygyarapodást és a takarmányértékesítést. A melléktermékek növekvő aránya (2%; 12,5%;

25%; 37,5%; 50%) azonban szignifikáns mértékben csökkentette ($p < 0,01$) a hasított testsúlyt (kg), a színhús arányát (%), a karaj átmérőt (mm) és a hátszalonna vastagságát (mm).

A malomipari és keményítőgyári melléktermékek takarmányozási értékét alapvetően meghatározza összetételük: korpa-, dara-, és csíra- (keményítőipari melléktermék) tartalmuk, valamint az adott gabona-alapanyag eredete és táplálóanyag-tartalma. Több évtizeddel ezelőtt a melléktermékek óvatos alkalmazását javasolták a sertéstakarmányozásban (*Stanogias és Pearce, 1985a,b*). Újabb vizsgálatok szerint a melléktermékek a táplálóanyagok emészthetőségére valamint az emészthető energiatartalomra gyakorolt hatását jelentősen befolyásolja az adott melléktermék kémiai összetétele, NSP-tartalma, és a rost oldhatósága (*Nortay és mtsai, 2008*). A búza DDGS 25%-ban adagolva 52-85 kg közötti sertésekben nem befolyásolta a súlygyarapodást és a takarmányértékesítést a búza és borsó alapú kontrolltakarmányhoz képest (*Widyaratne és Zijlstra, 2008*). Ettől eltérően a búza és szójadara alapú kontrolltakarmányt fogyasztó egyedek (20 és 51 kg között) súlygyarapodása és takarmányfelvétele lineárisan csökkent a búza DDGS-kiegészítés arányának növelésével párhuzamosan. A takarmányértékesítés ugyanakkor az alkalmazott kezelések hatására nem változott. A búza DDGS-kiegészítés arányának növelése 3, 6, 9, 12 és 15%-ra a befejező fázisban (52-113 kg) azonban már nem idézett elő termelésbeli különbséget a kontrolltápot és a búza DDGS-kiegészítést fogyasztó egyedek között (*Thacker, 2006*).

9. táblázat: A takarmánykeverékek mért nyersrost, illetve detergens rosttartalma (NDF, ADF, ADL) valamint számított hemicellulóz- és cellulóztartalma (g/kg takarmány)

Genotípus ¹	Nyersrost ²	Detergens rost ³			Hemicellulóz	Cellulóz	Melléktermék (%)
		NDF ⁴	ADF ⁵	ADL ⁶			
„A”	73,9	255	110	23	145	87	Extrahált napraforgódara 8,3%; Búzakorpa 6,15%;
„A”	46,3	213	65	14	148	51	-
„A”	36,0	228	65	8	163	57	-
„A”	35,1	201	54	6	147	48	-
„A”	31,1	157	59	6	98	53	-
„A”	35,7	226	55	7	171	48	Extrahált napraforgódara 6,5%
„A”	40,4	171	66	14	105	52	Extrahált repcedara 4%; CGF ⁷ 3%
„A”	35,8	182	62	10	120	52	Extrahált repcedara 4%; CGF 3%
„A”	39,3	211	57	9	154	48	Kukoricacsíra*
„A”	25,7	191	49	6	142	43	Malomipari melléktermék*
„A”	28,5	221	49	3	172	46	Kukoricacsíra 4,5%
„A”	32,5	273	49	6	224	43	Kukoricacsíra 4%
„A”	31,8	218	61	8	157	53	-
„A”	42,1	224	63	12	161	51	Extrahált napraforgódara 5%
„A”	30,3	148	52	9	96	43	Extrahált repcedara*
„B”	36,4	208	64	11	144	53	Extrahált napraforgódara 5%; Extrahált repcedara 3%
„B”	25,6	249	44	6	205	38	Lucernaliszt 3%
„B”	28,1	186	51	4	135	47	-
„B”	22,2	179	39	4	140	35	-
„B”	35,0	198	52	6	146	46	-
„B”	44,0	197	65	8	132	57	Kukoricacsíra 5%
„B”	37,7	182	55	9	127	46	Extrahált napraforgó dara 2,5%; CGF 4,5%

¹„A” genotípus: hibridek és más nagy teljesítményre képes keresztezések; „B” genotípus: tisztavérűek és keresztezései

²Kémiai vizsgálat (EB 152/2009/EK Rendelet alapján)

³MTK 1990. II. 8.2. alapján

⁴NDF: neutrális detergens rost

⁵ADF: savdetergens rost

⁶ADL: savdetergens lignin

⁷CGF: a kukorica nedves feldolgozása során a keményítő, csíra és a glutén nagyobb részének elválasztása után visszamaradó, takarmányozási célra használható alapanyag

*ismeretlen mennyiség

5.1.2. Különböző melléktermékek (kukorica-DDGS, szójahéj, búzakorpa, cukorrépapellet) etetésének hatása a növendék és hízó sertések termelési mutatóira nagy NDF-tartalmú takarmányozás mellett

A kísérlet során kapott eredményeket a 10. táblázat foglalja össze. A növendék fázisban (0-42. nap) az átlagos napi súlygyarapodás a kontroll csoport esetében 0,85 kg, a közepes melléktermék részarányú csoportban 0,84 kg, míg a nagy melléktermék részarányú csoport egyedeinél 0,83 kg volt. Ez a mutató a hízó fázisban (42-67. nap) a következő módon változott: 1,48 kg (KON), 1,45 kg (KMT) 1,53 kg (NMT). Az átlagos napi takarmányfelvétel a növendék fázisban a kontrollcsoport és a közepes melléktermék részarányú csoport egyedeinél 2,00 kg, nagy melléktermékarány esetében pedig 2,10 kg volt. A hízó fázisban az átlagos napi takarmányfelvétel egységesen 3,40 kg volt, mindhárom csoportban. Valamennyi vizsgált mutató esetében a kapott eredmények között nem volt statisztikailag igazolható különbség ($p>0,05$). A takarmányértékesítés a növendék fázisban hasonló volt az egyes csoportokban: 0,43 kg/kg, 0,42 kg/kg, és 0,40 kg/kg. A hízó fázisban kis mértékben nőtt a takarmányértékesítés, de a kezelések között nem találtunk szignifikáns különbséget: 0,44 kg/kg (KON), 0,43 kg/kg (KMT) és 0,45 kg/kg (NMT).

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a szójadara részarány csökkentése és a melléktermék hányad növelése a takarmányreceptúrában nem befolyásolta statisztikailag igazolható mértékben – egyik mérési időpontban sem – a sertések [(dán lapály×dán nagyfehér)×dán duroc] átlagos élősúlyát, napi takarmányfelvételét és súlygyarapodását. A vizsgált termelési mutatók nem különböztek a két ivarnál (emse vs. ártány).

10. táblázat: A kontroll és a növekvő részarányú melléktermék-tartalommal történő tápok etetésének hatása a növendék és hízósertések teljesítményére

Növendék fázis ¹					
Testtömeg, kg	KON ²	KMT1 ³	NMT1 ⁴	SEM ⁵	Takarmány p=
0. nap	40,90	40,90	41,40	0,282	0,920
14. nap	51,30	50,90	51,60	0,317	1,000
28. nap	66,50	66,70	66,20	0,520	1,000
42. nap	76,70	76,30	76,00	0,521	1,000
0-14. nap					
Súlygyarapodás, kg	0,75	0,71	0,75	0,020	0,910
Takarmányfelvétel, kg	1,80	1,90	1,90	0,046	0,671
Súlygyarapodás/takarmányfelvétel hányados, kg/kg	0,42	0,37	0,39	0,013	0,822
14-28. nap					
Súlygyarapodás, kg	1,08	1,13	1,05	0,034	0,810
Takarmányfelvétel, kg	2,20	2,20	2,20	0,031	0,977
Súlygyarapodás/takarmányfelvétel hányados, kg/kg	0,49	0,51	0,48	0,011	0,799
28-42. nap					
Súlygyarapodás, kg	0,73	0,69	0,70	0,018	0,931
Takarmányfelvétel, kg	2,10	2,00	2,00	0,014	0,563
Súlygyarapodás/takarmányfelvétel hányados, kg/kg	0,35	0,35	0,35	0,008	0,632
0-42. nap					
Súlygyarapodás, kg	0,85	0,84	0,83	0,010	0,580
Takarmányfelvétel, kg	2,00	2,00	2,10	0,023	0,953
Súlygyarapodás/takarmányfelvétel hányados, kg/kg	0,43	0,42	0,40	0,004	0,632
Hízó fázis ⁶					
Testtömeg, kg	KON	KMT2 ⁷	NMT2 ⁸	SEM	Takarmány p=
42. nap	76,70	76,30	76,00	0,521	1,000
56. nap	96,20	95,90	95,90	0,554	1,000
67. nap	113,50	112,41	113,3	0,830	1,000
42-56. nap					
Súlygyarapodás, kg	1,39	1,39	1,42	0,026	0,813
Takarmányfelvétel, kg	3,00	2,90	2,90	0,016	0,241
Súlygyarapodás/takarmányfelvétel hányados, kg/kg	0,46	0,48	0,49	0,008	0,576
56-67. nap					
Súlygyarapodás, kg	1,57	1,52	1,65	0,053	0,833
Takarmányfelvétel, kg	3,90	3,90	3,90	0,031	0,817
Súlygyarapodás/takarmányfelvétel hányados, kg/kg	0,40	0,39	0,43	0,012	0,925
42-67. nap					
Súlygyarapodás, kg	1,48	1,45	1,53	0,020	1,000
Takarmányfelvétel, kg	3,40	3,40	3,40	0,010	0,234
Súlygyarapodás/takarmányfelvétel hányados, kg/kg	0,44	0,43	0,45	0,005	0,889
Teljes kísérlet					
0-67. nap	KON	KMT1,2	NMT1,2	SEM	Takarmány p
Súlygyarapodás, kg	1,10	1,09	1,10	0,011	1,000
Takarmányfelvétel, kg	2,60	2,70	2,60	0,017	0,832
Súlygyarapodás/takarmányfelvétel hányados, kg/kg	0,42	0,40	0,43	0,003	0,841

Megjegyzés: az eredmények 20 egyed/kezelés átlagértékeit tartalmazzák (10 ártány, 10 emse). A takarmány és ivar interakció nem volt szignifikáns.

¹ Növendék fázis, 0-42. nap

² KON: kontroll, 0% melléktermék

³ KMT1: közepes melléktermék részarány (14,8%): 11,8% kukorica DDGS, 3% szójajég pellet a növendék fázisban

⁴ NMT1: nagy melléktermék részarány (26,8%): 14,2% kukorica DDGS, 0,6% szójajég pellet, 10% búzakarpa, 2% cukorrépa pellet a növendék fázisban

⁵ SEM: standard error of mean

⁶ Hízó fázis, 42-67. nap

⁷ KMT2: közepes melléktermék részarány (19,7%): 15% kukorica DDGS, 4,7% szójajég pellet a hízó fázisban

⁸ NMT2: nagy melléktermék részarány (32,8%): 15% kukorica DDGS, 0,8% szójajég pellet, 15% búzakarpa, 2% cukorrépa pellet a hízó fázisban

Így az általunk alkalmazott rostban gazdag melléktermékek (növendék fázis: közepes melléktermék (14,8%) részarány - 11,8% kukorica DDGS, 3% szójahéj pellet; nagy melléktermék részarány (26,8%) - 14,2% kukorica DDGS, 0,6% szójahéj pellet, 10% búzakorpa, 2% cukorrépa pellet, hízó fázis: közepes melléktermék részarány (19,7%) - 15% kukorica DDGS, 4,7% szójahéj pellet, nagy melléktermék részarány (32,8%) - 15% kukorica DDGS, 0,8% szójahéj pellet, 15% búzakorpa, 2% cukorrépa pellet) beilleszthetők a növendék- és hízósertések búza- és árpa alapú takarmányozásába. A sertések a hizlalás mindkét szakaszában kiváló súlygyarapodás/takarmányfelvétel hányadost (kg/kg) érték el megközelítőleg 1,10 kg/nap volt, ami megegyezik korábbi vizsgálatok adataival (*Stewart és mtsai, 2013; Shelby és mtsai, 2019*). A kiemelkedő eredmények elérésében nagy szerepe volt, hogy a takarmánykeverék összeállításakor az alapanyagok NE értékeit vettük alapul. Ezt korábbi kísérletek eredményei indokolták. A metabolizálható energiaértékelési rendszer (ME) alkalmazása nagy rosttartalmú (NDF, ADF) alapanyagok esetében ugyanis csökkentheti a növendéksertések teljesítményét, különösen a súlygyarapodást és esetenként a takarmányfelvételt is (*Weber és mtsai, 2010; Cromwell és mtsai, 2011; Ziemer és mtsai, 2012; Asmus és mtsai, 2014; Graham és mtsai, 2014; Coble és mtsai, 2018*). *Salyer és mtsai (2012)* valamint *Nemechek és mtsai (2013)* különböző melléktermékek alkalmazásakor a romló természetes mutatókat (súlygyarapodás, takarmányfelvétel, takarmányértékesítés) figyelték meg. A sertések gyengébb hizlalási eredményének hátterében a nagy rosttartalmú alapanyagok (melléktermékek) kisebb NE-tartalma áll. Éppen ezért a takarmánykeverékek NE alapon való összeállításakor, erre tekintettel vagyunk és a kisebb energiatartalmat valamilyen kiegészítéssel (pl. több olaj alkalmazása) kompenzálni tudjuk. *Coble és mtsai (2018)* leírták, hogy az NE rendszer pontosabban határozza meg az alapanyagok és késztakarmányok energiaértékét. Az NE rendszer kalkulál ugyanis az emésztési és a metabolikus folyamatok során fellépő hőszaporulatból származó energiaveszteséggel (*Kil és mtsai, 2013*).

Wu és mtsai (2016) ugyancsak rámutattak, hogy a sok kísérletben alkalmazott alapanyagok NDF- és ADF-tartalmának növelésével a növendék- és hízósertések gyengébb teljesítményének oka a metabolizálható energiarendszer értékei alapján összeállított takarmány volt. Az emészthető energia (DE) és a ME rendszerek túlbecsülik a nagy fehérje- és rosttartalmú összetevők energiaértékeit (*Noblet és mtsai, 1994a; Noblet, 2007*).

Navarro és mtsai (2018) kísérletében hat különböző kezelést alkalmaztak, melyekben 15% és 30% kukoricakeményítőt helyettesítettek 15% és 30% kukoricacsíra, cukorrépa-cellulóz és búzakorpa keverékével, valamint 15% és 30% repcedarával. Az takarmány

összeállításakor DE és ME energiaértéket használtak. Az így összeállított takarmánykeverék etetése negatívan befolyásolta a kísérleti egyedek teljesítménymutatóit. Hasonló eredményről számolt be *Wu és mtsai* (2016) nagy rosttartalmú összetevők, kukorica DDGS vagy búzaporpa etetésekor. A ME alapján összeállított takarmány etetésének hatására csökkent a súlygyarapodás, a takarmányfelvétel, és a takarmányértékesítés a kontroll kukorica-szója alapú takarmányt fogyasztó csoport eredményeihez képest. Az energia mellett fontos megemlíteni, hogy az előbbi kísérletekben (*Wu és mtsai*, 2016; *Navarro és mtsai*, 2018) a takarmányok fehérje-és aminosavtartalmát a sertések teljes aminosavigénye alapján alakították ki.

Nagy rosttartalmú takarmányösszetevők alkalmazásakor az energiaértéken kívül fontos kritérium az etetett takarmánykeveréket ileálisan emészthető aminosav alapján összeállítani (*Dégen és mtsai*, 2007; *Wu és mtsai*, 2016). Kísérletünkben a takarmánykeverékek számítása a standarizált ileálisan emészthető aminosavak alapján történt (SID). Valószínű ez is szerepet játszott abban, hogy a nagyobb rosttartalmú takarmányok negatív hatása elkerülhető.

Gutierrez és mtsai (2013) eredményei is igazolták a fenti megállapítást. A receptúrákészítés során az NE rendszer értékeit alkalmazva valamint biztosítva a sertések számára nélkülözhetetlen fehérje és aminosavak mennyiségét, akár 30%-os melléktermék részarány sincs negatív hatással a sertések teljesítménymutatóira. Ha a takarmány növekvő rosttartalommal és csökkenő energiatartalommal rendelkezik, akkor az energiahiány miatt kisebb a súlygyarapodás, a takarmányfelvétel és romlik a takarmányértékesülés. Abban az esetben azonban, amikor növekvő rosttartalom mellett az alkalmazott takarmányok NE-tartalma állandó volt, nem tapasztaltak negatív hatást a termelési mutatókban sem a növendék sem a hízó fázisban ($p < 0,05$). Más kutatók is hasonló eredményről számoltak be (*Stewart és mtsai*, 2013; *Shelby és mtsai*, 2019).

Eredményeink megerősítik annak a lehetőségét, hogy melléktermékek alkalmazásakor a „hagyományos fehérjeforrások”, mint például az extrahált szójadara aránya jelentősen csökkenthető. A mellékterméket tartalmazó takarmánykeverékek a növendék és hízófázisban mindössze, 4%, illetve 2% extrahált szójadarát tartalmaztak. Ez azt jelzi, hogy az extrahált szójadara nem kötelező alkotóeleme az intenzív genotípusú sertések takarmányának.

A hízósertések rostbontása, növendéksertésekkel összehasonlítva, hatékonyabb (*Noblet és Shi*, 1994; *Noblet és mtsai*, 1994b; *Wu és mtsai*, 2007). Ez a vastagbélben található

nagyobb mikrobiális aktivitással magyarázható (Just, 1983; Shi és Noblet, 1994). Ugyanakkor nemcsak az életkor, hanem a genotípus is meghatározó tényező lehet a vastagbél fermentációs hatékonyságában rostban gazdag takarmányozás esetén.

A hagyományos sertés genotípusok tenyésztése a nagy energia- és fehérjetartalmú, valamint az alacsony rosttartalmú takarmányokat részesítette előnyben a szelekció során. Napjainkban, az egyre fokozódó melléktermék felhasználás miatt, ezen a gyakorlaton változtatni kell. Noblet és mtsai (2013) növendék nagyfehér genotípusú sertések pozitív szelekciójáról számoltak be tanulmányukban. A növekvő rosttartalmú takarmányozás mellett végzett szelekció során nőtt a nagyfehér egyedek emésztési hatékonysága rostos alapanyagok etetésekor. Az észak-európai országok takarmányozási gyakorlata, azaz a nagy rosttartalmú takarmány-összetevők alkalmazása, gyors adaptációt, hatékony rostemésztést eredményezett.

Fontos még kitérni arra, hogy a nagyobb rosttartalmú melléktermékek bevonása hatással lehet a hasított test paramétereire. Jól lehet ezt kísérletünkben nem értékeltük, de irodalmi adatokból ismert, a takarmány rosttartalma, az etetett melléktermékek típusa és mennyisége befolyásolhatják a vágási paraméterek alakulását.

A meleg hasított féltestek tömegének illetve a vágási hozam csökkenését tapasztalták 30% kukorica-DDGS (Agyekum és mtsai, 2012), 30% kukorica-DDGS és 19% búzakorpa (Graham és mtsai, 2014) vagy 10-30% kukorica-DDGS melléktermék hányad etetése esetén (Whitney és mtsai, 2006). Az idézett kísérletekben ME-tartalommal számoltak az etetett takarmányok összeállításakor. Wu és mtsai (2016), a komponensek NE értékével számolva, 40% kukorica-DDGS × búzakorpa arányú takarmány etetésekor nem talált eltérést a hasított féltestek összetételében.

A kiemelkedően nagy melléktermékarány, például 30% DDGS és 10-20% búzakorpa (Salyer és mtsai, 2012) vagy 30% szójahéj és 30% búzakorpa már káros lehet a növendék- és hízósertések termelési mutatóira és a vágott test minőségi paramétereire, NE rendszer használata mellett is (Stewart és mtsai, 2013).

Több vizsgálatban is (Whitney és mtsai, 2006; Widmer és mtsai, 2008; Cromwell és mtsai, 2011; Coble és mtsai, 2018) a hátszalonna-vastagság csökkenését figyelték meg 10-30% kukorica-DDGS-kiegészítés hatására. Ettől eltérően más kutatók eredményei ezt a negatív hatást nem igazolták. A hátszalonna-vastagság nem változott, ha az etetett takarmány 10-30% kukorica-DDGS-t (Fu és mtsai, 2004), 20-40% kukorica-DDGS-t (White és mtsai, 2007) vagy 10–20% kukorica-DDGS-t (Widmer és mtsai, 2008) tartalmazott.

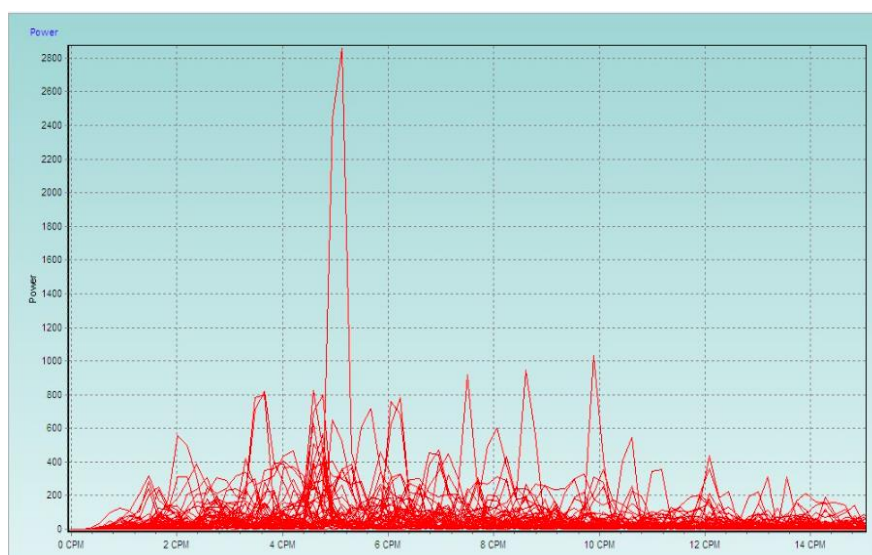
Whitney és mtsai (2006) vizsgálata szerint 10-30% kukorica-DDGS etetése mellett csökken a karajvastagság és nő a csepegési veszteség ME rendszer használata esetén. Más szerzők nem tapasztalták a karajvastagság csökkenését, ha a takarmány 20–40% kukorica-DDGS-t (White és mtsai, 2007) vagy kevesebb, 10–20% kukorica-DDGS-kiegészítést tartalmazott (Widmer és mtsai, 2008).

5.2. Növendék sertések gasztrointesztinális simaizom szövetének elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) vizsgálata

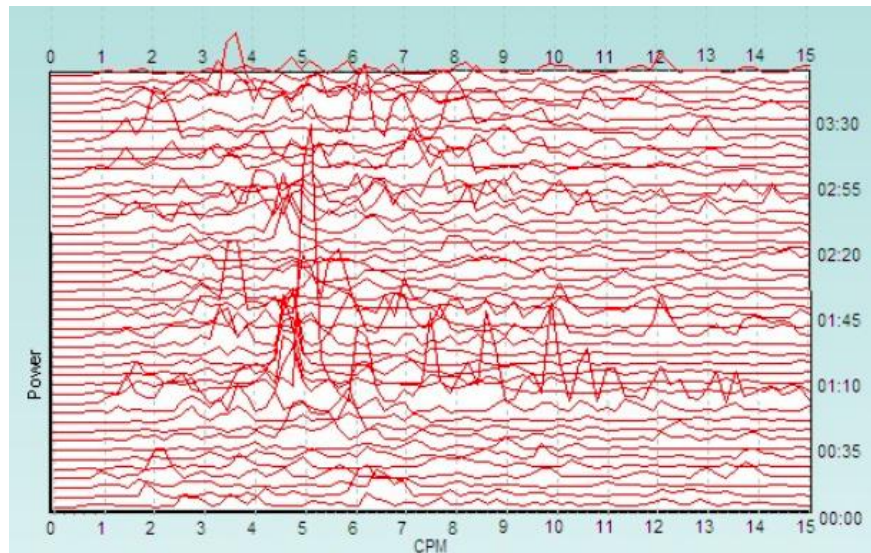
5.2.1. Miográfiás mérőműszer alkalmazhatóságának vizsgálata sertés esetében

A pilot teszt során egy (n=1) állattal végeztük az első miográfiás méréseinket altatott állapotban. A béltraktusban végbemenő változások monitorozása érdekében különböző hatóanyagok vénás adagolásával serkentettük (metoklopramid) illetve lassítottuk (hioszcin butil bromid + dipiron) a bélmozgást. Az elektromos hullámok detektálásához, a jelek rögzítésére az egyszer használatos Ag/AgCl elektródák alkalmasnak bizonyultak. A hasfal bal és jobb oldalán felhelyezett mérőelektródákat és a semleges elektródát a bal combon rögzítettük, a használt felhelyezés szintén eredményesnek bizonyult. Valamennyi (hasfal mindkét oldala és comb) elektróda által rögzített jel folyamatosan mérhető és látható volt a számítógépes 2D illetve 3D megjelenítés során. Az emésztőrendszer szervei, frekvenciatartomány alapján történő szűréssel, egyértelműen elkülöníthetőek voltak, melyeket 3D grafikonokon tudtunk szemléltetni számtógépen (6., 7. ábra).

A pilot teszt tapasztalatai alapján alkalmasnak találtuk a mérési módszert a béltraktus simaizomszövet változásának detektálására, a hardver (holter és vezetékek), valamint az általunk alkalmazott ISO/Myo szoftver is megfelelő volt az eredmények értékelésére és megjelenítésére. Technikai oldalról a mérési metodika azonban fejlesztést igényelt.



6. ábra: A pilot miográfiás mérés eredményeinek számítógépes megjelenítése 2D megjelenítési módban (Saját mérés)



7. ábra: A pilot miográfiás mérés eredményeinek számítógépes megjelenítése 3D megjelenítési módban (Saját mérés)

A miográfiás mérést EGIG holter készülék használatával végeztük el, mely vezetékeken keresztül csatlakozott az állat bőrfelületére felhelyezett elektródákhoz; összesen 5 elektródát alkalmaztunk. A kísérleti egyed – folyamatos állatorvosi felügyelet mellett – altattuk a mérés során, ez nagyban megkönnyítette a felhelyezést és a rögzítés időtartamát is jelentősen növelte, annak ellenére, hogy rövid méréseket végeztünk. Mivel a kísérleti egyed nem mozgott, ezért az elektródák védelméről (szakadás veszélye), és a holter egység külön rögzítéséről nem kellett gondoskodnunk ebben a kísérletben. Ugyanakkor a további mérések elvégzéséhez a holter rögzítését és védelmét, valamint az elektródák védelmét meg kellett oldanunk, mivel a további kísérleteinket éber állapotú, nagyobb egyedszámú sertés létszámmal végeztük.

5.2.2. A gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetének elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) vizsgálata éber sertésekkel, nagy rosttartalmú takarmányozás mellett anyagcsereketrecben

Az éber állapotban, anyagcsereketrecben, 4 óra/egyed mérési idővel zajló vizsgálat eredményeit (simaizomszövet összehúzódásainak száma, az összehúzódásokat jellemző

akcióspotenciálok frekvencia értéke) a *11. táblázatban* foglaltuk össze. A három állatban a mérési időpont illetve a takarmány szerint is változott a simaizom percenkénti összehúzódásának száma (cpm, cycles per minute). A három mérési időpont közül két esetben változott szignifikáns mértékben mindhárom sertésben (M1, M2, M3). Az állatok cpm eredményei nem mutattak egységes változást a kontroll illetve a kísérleti szakaszban. Az M1 jelű állatban a kontrollszakaszhoz viszonyítva, rostos takarmány etetésekor kisebb (1. mérés), illetve nagyobb cpm értéket (2. mérés) mértünk. Az M2 sertésben a nyersrosttartalom emelésekor a kontroll eredményéhez képest kisebb cpm értéket kaptunk az első két mérés során. Az M3 sertésben pedig ezzel ellenkezőleg nagyobb cpm érték volt rostkiegészítés alkalmazásakor (M3, 1. mérés: $4,63 \pm 2,16$ vs. $5,98 \pm 2,95$, $p=0,008$; M3, 3. mérés: $4,86 \pm 2,27$ vs. $5,87 \pm 2,35$, $p=0,007$; sorrendben kontroll, kísérleti kezelés). Az eredmények ok-okozati összefüggéseinek feltárásához további vizsgálatok szükségesek.

A simaizom összehúzódásainak maximális frekvenciaértéke (Y max) valamennyi egyed esetében változást mutatott a nagy rosttartalmú (kísérleti) takarmány etetésének hatására. A változások iránya ugyanakkor nem mutatott egységes képet, egyik egyedben csökkent, másokban nőtt. A frekvencia értékek közül csak egyik kísérleti egyednél (M3) kaptunk minden mérés esetén szignifikáns változást a két takarmány hatását vizsgálva (*11. táblázat*). A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a 4% Opticell C5 rostkiegészítést (kísérleti takarmány) tartalmazó takarmány etetése valamennyi egyed esetében hatással volt a növénytörzsek emésztőtraktusát alkotó simaizom szövet által produkált akcióspotenciálok maximális frekvencia értékeire (M1, 1. mérés: 11,99 vs. 155,53; M1, 2. mérés: 218,65 vs. 14,96; M2, 1. mérés: 20,09 vs. 143,94; M2, 2. mérés: 82,67 vs. 564,71; M3, 1. mérés: 85,79 vs. 31,95; M3, 2. mérés: 122,78 vs. 20,64; M3, 3. mérés: 87,34 vs. 14,98; sorrendben kontroll, kísérleti kezelés).

M3 egyed esetében mindhárom mérés (mérés 1, 2 és 3) esetén szignifikáns különbséget tapasztaltunk a kezelések között (M3, 1. mérés: 85,79 vs. 31,95; M3, 2. mérés: 122,78 vs. 20,64; M3, 3. mérés: 87,34 vs. 14,98; sorrendben kontroll, kísérleti kezelés, $p<0,001$). Így megállapítható volt, hogy a kísérleti takarmány hatására tapasztalt simaizom szövet által produkált összehúzódások száma percenként több volt mindhárom mérés (mérés 1, 2 és 3) alkalmával, mint a kontroll takarmány etetésének hatására. Ezáltal feltételezhető volt, hogy a nagy rosttartalmú takarmány fogyasztása ezen kísérleti egyed tekintetében (M3) növelte a simaizom szövet által kiváltott akcióspotenciálok számát (cpm), ami az összehúzódások számának növekedésével volt magyarázható. A cpm értékek esetében ezen egyednél csak az

első és a harmadik mérés során tapasztaltuk az akcióspotenciál értékek szignifikáns növekedését.

Az elfogyasztott takarmány (kontroll ill. kísérleti) hatásának *többszörös elemzése* alapján megállapítható, hogy a cpm értékekre nem volt szignifikáns hatással ($p>0,05$) sem a kezelés, sem pedig az egyed, ezzel szemben szignifikáns mérési sorozathatást figyeltünk meg. A kezelés \times egyed ($p<0,001$); kezelés \times egyed \times mérési sorozat ($p<0,001$) és az egyed \times mérési sorozat ($p=0,002$) interakció statisztikailag igazolhatóan szignifikáns mértékű eltéréseket mutatott.

Az Y max értékekre szignifikáns hatással volt a kezelés, a vizsgálatba vont állat, illetve a mérési sorozat is. A kezelés \times egyed ($p<0,001$); kezelés \times mérési sorozat ($p=0,044$) sorozat; kezelés \times egyed \times mérési sorozat ($p<0,001$) és az egyed \times mérési sorozat ($p<0,001$) interakciók is statisztikailag is igazolt különbséget mutattak, ami arra utalt, hogy az egyes változók hatásai nem voltak függetlenek egymástól.

11. táblázat: A kontroll és a kísérleti takarmánykeverék etetésének hatása a simaizom percnkénti összehúzódnásainak számára (cpm) és az összehúzódnások maximális frekvencia értékeire (Y max)

Egyed	Mérés	cpm			Y max (MA)		
		Kontroll	Kísérleti	p	Kontroll	Kísérleti	p
M1 ¹	1	5,64 \pm 2,69*	4,73 \pm 2,23*	p=0,023	11,99 \pm 7,22*	155,53 \pm 292,79*	p<0,001
	2	4,65 \pm 2,34*	5,74 \pm 2,40*	p=0,080	218,65 \pm 390,12*	14,96 \pm 11,98*	p=0,011
	3	5,85 \pm 2,44	6,35 \pm 2,91	-	16,24 \pm 10,65	17,69 \pm 10,65	-
M2 ²	1	5,43 \pm 2,47*	4,67 \pm 2,98*	p=0,029	20,09 \pm 38,92*	143,94 \pm 350,72*	p<0,001
	2	6,78 \pm 3,30*	4,35 \pm 2,67*	p<0,001	82,67 \pm 206,80*	564,71 \pm 590,25*	p<0,001
	3	6,60 \pm 3,38	6,41 \pm 3,16	-	15,07 \pm 10,23	13,59 \pm 6,43	-
M3 ³	1	4,63 \pm 2,16*	5,98 \pm 2,95*	p=0,008	85,79 \pm 226,18*	31,95 \pm 128,91*	p<0,001
	2	5,66 \pm 2,34	6,12 \pm 2,10	-	122,78 \pm 303,68*	20,64 \pm 13,08*	p<0,001
	3	4,86 \pm 2,27*	5,87 \pm 2,35*	p=0,007	87,34 \pm 182,31*	14,98 \pm 11,32*	p<0,001

cpm: cycles per minute, percnkénti összehúzódnások száma

Y max: simaizom szövet összehúzódnások maximális frekvencia értékeit (MA)

Kontroll takarmány: hagyományos szója-kukorica alapú takarmánykeverék, nyersrosttartalom: 2,80%

Kísérleti takarmány: hagyományos szója-kukorica alapú takarmánykeverék + 4% Opticell-kiegészítés (Agromed Austria GmbH), nyersrosttartalom: 4,69%

¹M1: Malac 1 kísérleti egyed

²M2: Malac 2 kísérleti egyed

³M3: Malac 3 kísérleti egyed

*: szignifikáns különbség a kontroll és kísérleti takarmány között

A miográfiás méréssel kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy a vizsgálatba vont egyedek kismértékben, de mozogni tudtak az anyagcsere ketrecekben, ezért gondoskodnunk kellett az elektródák védelméről (szakadás veszélye), és a holter egység külön rögzítéséről. Az elektródák hosszúságát úgy kellett meghatározni, hogy az egyed képes legyen felállni, leülni, illetve feküdni az anyagcsereketrecekben úgy, hogy a ketrec tetején elhelyezett holterhez

való csatlakoztatás akadálymentes és folyamatos legyen. Sajnos az elektródák és a holter egység között az egyed mozgása miatt több esetben is a vezeték hosszánál nagyobb lett a távolság ami az elektródák gyakori szakadásához vezetett. Ezen probléma kiküszöbölése érdekében a következő kísérletben olyan felhelyezést alakítottunk a mérőműszer számára, mely lehetővé tette a kísérleti állatok szabad mozgását.

5.2.3. Nagy rosttartalmú takarmány etetésének hatása a gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetére (Smooth muscle electromyography - SMEMG) éber, szabadon mozgó növendék sertéseknél

A mérési időt 4 órára csökkentettük, ez az időszak alkalmas volt arra, hogy a kísérleti céloknak megfelelően elegendő adatot tudjunk gyűjteni az emésztőtraktus simaizom szövetének miográfias változásairól.

A maximális teljesítményspektrum sűrűségének (PsD_{max} , mV^2) abszolút értékei különbözőek voltak az emésztőrendszer egyes szegmenseiben (gyomor, vékonybél, vastagbél) és a különböző kezelések esetében (kontroll és kísérleti) (12. táblázat). A kísérleti takarmány etetésekor mért PsD_{max} értékek eltértek a kontroll takarmányt fogyasztó egyedek eredményeitől. Szignifikáns hatást a vékonybélben találtunk, minden állatban a nagyobb rosttartalmú takarmány etetésekor nagyobb PsD_{max} értéket mértünk ($p \leq 0,001$). A gyomor illetve a vastagbél nem mutatott változást.

A PsD_{max} (mV^2) abszolút értékei az emésztőrendszer egyes szegmenseiben (gyomor, vékonybél, vastagbél) és a különböző kezelések esetében (kontroll és kísérleti) változtak, jelezve a szervek által generált simaizom összehúzódások intenzitásának változását (12. táblázat). A kísérleti takarmány etetése során mért PsD_{max} értékek különböztek a kontroll takarmányt fogyasztó egyedek eredményeitől. Ezek a különbségek azonban nem egységesen változtak az egyes szerveknél, mivel nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a gyomor és a vastagbél esetében. A PsD_{max} értékek szignifikáns növekedését csak a vékonybél esetében tapasztaltuk ($p \leq 0,001$).

A kontroll takarmány fogyasztása esetén a PsD_{max} érték a gyomor esetében 101,3 és 350,3 között változott; 20,4 és 67,2 között a vékonybélnél és a vastagbél esetében 44,0 és 362,9 között volt ez az érték. A kísérleti takarmány fogyasztásának hatására a PsD_{max} a gyomor esetén 102,8 és 355,6 között; a vékonybélnél 82,9 és 264,0 valamint a vastagbélnél 64,8 és 385,8 között változott.

12. táblázat: A kontroll és kísérleti takarmány etetésének hatása a maximális teljesítményspektrum sűrűség (PsD_{max} , mV^2) abszolút értékének változására az emésztőrendszerben (n=9)

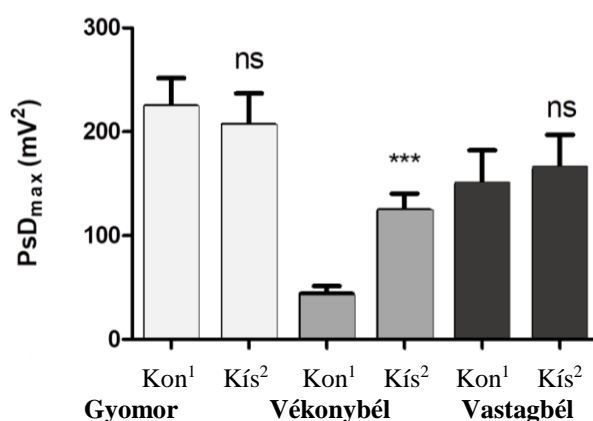
Maximális teljesítménysűrűség abszolút értéke (PsD_{max} , mV^2)					
Gyomor		Vékonybél		Vastagbél	
Kontroll	Kísérleti	Kontroll	Kísérleti	Kontroll	Kísérleti
350,3	349,0	66,2 ^a	153,7 ^b	211,5	249,5
191,3	174,4	43,2 ^a	163,6 ^b	86,6	140,7
269,8	223,3	22,6 ^a	133,0 ^b	178,2	126,5
306,6	102,8	67,2 ^b	264,0 ^a	362,9	64,8
208,3	169,2	20,4 ^a	168,8 ^b	56,6	385,8
101,30	182,3	22,3 ^a	121,3 ^b	137,4	120,6
116,50	106,4	20,5 ^a	174,2 ^b	44,0	89,9
225,20	196,0	65,9 ^a	92,6 ^b	179,9	123,6
250,20	355,6	66,5 ^a	82,9 ^b	84,0	178,2

a, b: p ≤ 0,001

Kontrolltakarmány: hagyományos szója-kukorica alapú takarmánykeverék, nyersrosttartalom: 29 g/kg takarmány
 Kísérleti takarmány: hagyományos szója-kukorica alapú takarmánykeverék + 4% Opticell C5 kiegészítés Agromed Austria GmbH), nyersrosttartalom: 49 g/kg takarmány

A mérések valamennyi PsD_{max} értékének átlagát és szórását (kontroll vs. kísérleti) az emésztőrendszer különböző szakaszaiban a 8. ábra szemlélteti. A vékonybél simaizom szövetének összehúzódása szignifikáns mértékben nőtt ($p < 0,001$) a kísérleti takarmányadagot fogyasztó sertésekben. A gyomorban illetve a vastagbélben a nagyobb rosttartalmú takarmány nem idézett elő szignifikáns változást PsD_{max} átlagértékében.

A különböző rosttartalmú takarmányok etetésének hatására nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést az emésztőtraktus egyes szervei esetében a mért cpm értékek vizsgálata során (13. táblázat). Gyomorban azonos értéket mértünk (Kontroll: 4.06 vs. Kísérleti: 4.06). A vékonybélben (Kontroll: 22.06 vs. Kísérleti: 22.10) illetve a vastagbélben (Kontroll: 2.11 vs. Kísérleti: 2.13) is nagyon közeli értéket detektáltunk.



¹Kontrolltakarmány: hagyományos szója-kukorica alapú takarmánykeverék, nyersrosttartalom: 29 g/kg

²Kísérleti takarmány: hagyományos szója-kukorica alapú takarmánykeverék + 4% Opticell C5 kiegészítés (Agromed Austria GmbH), nyersrosttartalom: 49 g/kg takarmány

***p ≤ 0,001, ns: nem szignifikáns

8. ábra: A maximális teljesítményspektrum sűrűség (PsD_{max}, mV²) átlagértékeinek változása kontroll és kísérleti takarmány etetésekora az emésztőrendszer egyes szakaszaiban (n=9)

13. táblázat: A kontroll és kísérleti takarmány etetésének hatása az emésztőtraktus egyes részeinek (gyomor, vékonybél, vastagbél) cpm értékeire (n=9)

cpm	Kontroll	Kísérleti	p=
Gyomor	4,06 ± 0,45	4,06 ± 0,44	0,814
Vékonybél	22,10 ± 1,01	22,06 ± 1,15	0,855
Vastagbél	2,11 ± 0,65	2,13 ± 0,69	0,919

¹Kontroll takarmány: hagyományos szója-kukorica alapú takarmánykeverék, nyersrosttartalom: 29 g/kg

²Kísérleti takarmány: hagyományos szója-kukorica alapú takarmánykeverék + 4% Opticell C5 kiegészítés (Agromed Austria GmbH), nyersrosttartalom: 49 g/kg takarmány

5.3. Növendék sertésekben a gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetének elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) mérési eredményeinek értékelése

A nagy rosttartalmú melléktermékek csökkenthetik a sertéshús-előállítás takarmányköltségeit, javítják a bél egészségi állapotát, hozzájárulnak az állatjóléti körülmények javításához és csökkentik az ágazat ammónia-kibocsátását. Ezen takarmány-alapanyagok valamennyi lehetséges előnyének kihasználása érdekében pontosan meg kell becsülni, és mérni energiaértéküket, emészthetőségüket, az emésztőtraktusra és a passzázsra gyakorolt hatásukat (Liu és mtsai, 2020). A rostban gazdag alapanyagok hatással vannak az emésztési folyamatokat befolyásoló különböző tényezőkre, például a takarmány áthaladási

idejére az emésztőrendszeren (*Bach Knudsen és Jorgensen, 2001; Le Goff és Noblet, 2001*). Ebből következően szükség van olyan módszerekre, melyekkel valós, mérhető adatok nyerhetők, melyek segítik az emésztőtraktusban végbemenő változások nyomonkövetését.

Nem egyértelmű és a rendelkezésre álló forrásmunkák adatai szerint ellentmondásos a különböző rostforrások hatása az emésztőrendszer működésére és a nyersrost lebontására. A nyersrostforrások (mind az oldható, mind az oldhatatlan rostok) egyes kutatás szerint sertésben lassítják (*Miquel és mtsai, 2001; Van Leeuwen és mtsai, 2006*), nincs hatásuk (*Rainbird és Low, 1986*), vagy felgyorsítják (*Potkins és mtsai, 1991; Guerin és mtsai, 2001*) az emésztőrendszerben lévő tartalom áthaladását. A gyomor és a vékonybél esetében ezek a különbségek összefüggésben lehetnek olyan étrendi tényezőkkel is, mint a szemcseméret (*Potkins és mtsai, 1991*), a rostforrások vízmegkötő képessége, továbbá a béltartalom emésztőtraktust kitöltő hatása, teriméje (*Stanogias és Pearce, 1985a,b*). Ezek a hatások szorosan összefüggnek az emésztőtraktus különböző szegmenseinek fizikai változásával, melyek befolyásolhatják a motilitást és a tranzitidőt, és így a táplálóanyagok emészthetőségét.

Az irodalomban megtalálható modellek alapján becsléssel megállapítható a sertések esetében az ileális vagy a teljes emészthetőség (*Usry és mtsai, 1991; Bastianelli és mtsai, 1996; Rivest és mtsai, 2000*) valamint a tranzitidő. A fő különbség ezek között a modellek között, hogy az emésztőtraktust alkotó szervek anatómiai felépítését különböző módon kezelik. A gyomor esetében az ürítési folyamatban a gyomortartalom egyetlen egy tömegként jelenik meg, melyet az elfogyasztott táplálék teljes szárazanyag-tömege (*Usry és mtsai, 1991; Bastianelli és mtsai, 1996*) vagy fehérjetömege (*Rivest és mtsai, 2000*) határoz meg. A gyomortól eltérően az egyes módszerek a vékonybelet különböző szegmensekre osztják. A táplálék tranzit idejének megállapítása az egyik szegmensből a másikba való átjutás statisztikai valószínűsége alapján számítás (*Usry és mtsai, 1991*) vagy egyéb kalkuláció (*Rivest és mtsai, 2000*). *Bastianelli és mtsai (1996)* vizsgálatukban a vékonybelet két egységre osztották, melyeket eltérő áthaladási idővel jellemeztek. A vastagbelet *Bastianelli és mtsai (1996)* egy egységként értékelik az alkalmazott modelljükben, melyből a kiáramlás időtartama az elfogyasztott takarmány szárazanyag-tartalmától függ.

Elengedhetetlen az emésztőrendszer anatómiai felépítésének pontos ismerete és annak valós monitorozása. A modellek közvetett módon nyújtanak adatokat, az emészthetőség becsléséhez jelzőanyagot tartalmazó takarmány etetése szükséges. Kanülözött állatokban, jelzőanyag alkalmazásával az emésztőtraktus egyes szakaszaiban, meghatározott időközönként gyűjtik a bél-, illetve bélsármintát (*Wilfart és mtsai, 2007*) Az időalapú

mintagyűjtési metodika folyamatos takarmányfelvételt és bélsárürítést feltételez a mintagyűjtési időszak alatt (*Adeola és mtsai, 2001; Zhang és Adeola, 2017*). Ismert azonban, hogy a valóságban nem állandó az emésztőtraktus kiürülése és az elfogyasztott takarmány emésztőrendszeren történő áthaladásának sebessége. Ezeket a tényezőket jelentős mértékben befolyásolhatják az állatok tartási körülményei, élettani és egészségi állapota, valamint az etetett takarmány fizikai-kémiai tulajdonságai (*Potkins és mtsai, 1991; Jorgensen és mtsai, 1997*). A fizikai és kémiai tulajdonságok kiemelt fontosságúak nagy rosttartalmú összetevők etetésekor, mivel a rostalkotó forrása és mennyisége a takarmányban jelentős mértékben befolyásolhatja a sertések bélsárürítésének napi gyakoriságát (*Potkins és mtsai, 1991; Freire és mtsai, 2000; Le Goff és mtsai, 2002; Morel és mtsai, 2006; Wilfart és mtsai, 2007; Navarro és mtsai, 2018; Choi és Kim, 2019*). Ezáltal ezen mérések eredménye megkérdőjelezhető, különösen a nagy rosttartalmú takarmányok etetésének esetében.

A fent ismertetett, általánosan alkalmazott emészthetőség megállapítására használt módszerek adatgyűjtése alapján kiszámítható az átlagos retenciós idő (MRT). Az irodalomban közölt tranzitadatokat nehéz összehasonlítani, mert a teljes traktus MRT abszolút értékei nagymértékben eltérnek egymástól. *Van Leeuwen és mtsai (2006)* által közölt adatok alapján az 50 és 120 kg közötti sertések átlagos MRT értéke 75 óra volt. *Le Goff és mtsai (2002)* megfigyelték, hogy az MRT érték a sertések élősúlyától függően enyhén nő, így pl. az átlagos MRT érték 33 órától 37 órára nőtt 33 kg vs. 78 kg élősúly között. *Potkins és mtsai (1991)* 38 kg élősúlyú sertésekkel végzett kísérletükben 25 és 38 óra közötti MRT értéket mért. *Latymer és mtsai (1990)* 25 kg élősúlyú sertéseknél jelzőanyagot tartalmazó takarmány felvétele után 43 órával még jelentős markerkoncentrációt találtak a gyűjtött mintákban.

Az ismertetett módszerek fő hiányossága, hogy nem a valós anatómiai körülmények között mért adatok alapján ad eredményt a tranzitidőre vonatkozóan, hanem különböző matematikai modellekkel következtet az elfogyasztott takarmány emésztőrendszerben töltött idejére.

Orvosi kísérletek igazolták a simaizom-elektromiográfia megbízhatóságát. Főleg a gyomorban (EGG) igazolták a módszer alkalmasságát. Napjainkban is sertésben, mint modellállatban széles körben alkalmazzák az EGG mérési technikát altagás mellett (*Varayil és mtsai 2009; Tacheci és mtsai 2011; Kvetina és mtsai 2015*). Ismert, hogy a humán és az állatokkal végzett EGG mérések ígéretesek, azonban nem garantálható, hogy a rögzített elektromos jelek kizárólag a feltételezett emésztőtraktusokból származnak. Az EGG módszerek által gyűjtött a simaizom szövet által produkált lassú és gyors hullámok a légzés és

mozgás simaizom szövete által produkált munkából is származhatnak, így az EGG jelek mozgási és légzési artefaktokkal terheltek (*Qin és mtsai*, 2015). Sok tanulmány kiemelte, hogy a normál szervspecifikus frekvencián kívüli értékeket aritmiának kell tekinteni. A lassú hullámú mioelektromos jelek interferenciája, vagy akár az agy, a szívizom vagy a vázizom által generált gyors hullámú jelek rögzítésének nagy az esélye az EGG módszerek alkalmazása során, viszont van lehetőség e zavaró tényezők kiszűrésére speciális szenzorok és szűrők alkalmazásával (*Prats-Boluda és mtsai*, 2011).

Szűcs és mtsai (2016) kutatásukban el tudták különíteni a gyomor és béltraktus különböző szakaszairól érkező jeleket, és ezáltal szervenként kimutatták a patkányok simaizom elektromiográfiai jeleinek változását. Az általuk alkalmazott jelfelvevő és -feldolgozó szoftver erőteljes elektronikus szűrőkkel voltak ellátva, amelyek elválasztották a simaizomjelek lassú hullámait a szív, az agy és a vázizom elektromos aktivitásától. A *Szűcs és mtsai* (2016) által meghatározott frekvenciatartományokat - gyomor (3-5 cpm), vékonybél (20-25 cpm) és vastagbél (1-3 cpm) - alkalmaztuk saját vizsgálataink során.

Az EGG módszert széles körben alkalmazzák a farmakológiai kutatásokban, melyben a sertés modellállat. Specifikus gyógyszereket használva vizsgálták a gyomor simaizom szövetének összehúzóereit. *Varayil és mtsai* (2009) sertéssel (n = 8) végzett kutatásukban $3,3 \pm 0,5$ cpm értéket jelölték meg a gyomor normál domináns tartományának. Három, különböző tartomány kritérium alapján csoportosították a gyűjtött EGG miográfias jeleket (<2,8 cpm; 2,8 - 3,8 cpm; > 3,8 cpm) kontroll (gyógyszer nélkül EGG vizsgálat); itoprid (100 mg intragasztrikus adagolás) és 360 ml víz/állat kezelésenként, 30 perc hosszúságú EGG vizsgálat során.

Tacheci és mtsai (2013) szintén a gyomorra jellemző domináns frekvencia tartományt azonosították sertésben különböző gyógyszerkészítmények adagolása mellett. A kiindulási EGG miográfias jeleket ketamin (A kezelés) és azaperon (B kezelés) intramuszkuláris injekciója után rögzítették. Altatást követően négy különböző kezelés következett: tiopental, izoflurán, dinitrogén-oxid és izoflurán + dinitrogén-oxid együttes adagolása. Az eredmények alapján megállapított átlagos domináns frekvencia tartomány 2,3-3,5 cpm volt minden állat esetében, minden kezelési csoportban.

Bures és mtsai (2020) két ismétlésben mérték az intragasztrikus memantin adagolásának a hatását a gyomor lassú hullámjainak domináns frekvencia értékeire sertéseken (n = 6) altatás mellett. Humán vonatkozásban a memantin beadása különböző gyomor és

bélrendszeri diszmotilitási mellékhatásokkal jár (hányás, hasmenés, székrekedés). Vizsgálatukban nem találtak kapcsolatot a rögzített EGG paraméterek és a memantin szérumkoncentrációja között. A domináns frekvencia tartomány 2,0 és 3,2 cpm között volt.

Ezekben a kísérletekben különböző mérési időt, eltérő állatlétszámot (n), valamint ismétlést alkalmaztak. Altatott állatot használtak, és csak a gyomorra gyakorolt gyógyszerhatást elemezték. Egy kísérletet végeztek éhgyomri körülmények között (*Varayil és mtsai*, 2009), a többi vizsgálatban takarmányt kaptak az állatok a gyógyszerkészítmények beadása mellett (*Tacheci és mtsai*, 2013; *Bures és mtsai*, 2020). A kísérletek azonosított domináns frekvencia érték tartománya (cpm) az általunk is megerősített, gyomorra jellemző frekvencia tartományon belül voltak (3,00-5,00 cpm). Az általunk mért, szervspecifikusan filterezett eredmény a gyomorban nagyobb volt (kontroll: 4,10 cpm; kísérleti: 4,06 cpm), mint az említett kísérletek eredményei, minden szűrési folyamat nélkül, de a *Szűcs és mtsai* (2016) által mért gyomor értéktartományán belül volt. Ez a gyomorra alkalmazott frekvencia tartományérték összhangban volt korábbi humán vonatkozású vizsgálatok eredményeivel (*Chen és mtsai*, 1994; *Hocke és mtsai*, 2009; *Obioha és mtsai*, 2013).

Az EGG módszerek közül, a nem csak gyomorral, hanem az egész emésztőtraktust alkotó simaizom szövet által mért miográfiás jelek vizsgálatával foglalkozó SMEMG módszer eddig ismeretlen mérési technika volt sertés emésztőtraktusában a motilitási eltérések diagnosztizálására. Ismereteink szerint, gazdasági haszonállatokkal, azon belül sertéssel, éber állapotban nem alkalmazták az SMEMG mérést.

Ezzel az értékelési módszerrel kísérletünkben a vékonybél PsD_{max} abszolút értékének szignifikáns növekedését figyeltük meg nagy nyersrosttartalmú takarmány etetésének hatására. A PsD_{max} értékek alapján a vékonybél simaizom szövetének összehúzódásai intenzívebbek voltak a kísérleti, nagyobb rosttartalmú takarmány etetése esetén. Az SMEMG mérési módszer kimutathatóvá tette a rost jelenlétét. Ezáltal az emésztőtraktusban jelentkező valós, mérhető különbséget tudunk detektálni ezzel a diagnosztikai módszerrel az emésztőrendszer egyes szakaszainak vizsgálatakor. Ezek az eredmények nagyban hozzájárulhatnak a valós motilitás vizsgálatához, ezáltal – későbbi kutatómunkákban – a pontos tranzitidő méréséhez. Annak ellenére, hogy széles körben vizsgálták hagyományos emészthetőségi kísérletekkel a rost etetésének hatását a motilitásra és a tranzitidőre, a vékonybél esetében nincs egyértelmű álláspont e paraméterek vizsgálata során. *Wenk* (2001) arról számolt be, hogy a nyersrost fokozta a bél perisztaltikát, ugyanakkor a tranzitidő csökkent a vékonybélben a rostban gazdag takarmány fogyasztása során. Hasonlóan *Wenk*

(2001) eredményeihez *Laplace* és *mtsai* (1980) szintén a rostdús takarmány bélperisztaltikát fokozó hatásáról számoltak be, illetve a tranzitidő csökkenéséről a bélben. *Jorgensen* és *mtsai* (1996) szintén jelentős motilitás növekedést és tranzit idő csökkenést figyeltek meg a vékonybélben 4 g/kg szárazanyag NSP etetésének hatására. *Van Leeuwen* és *mtsai* (2006) az előbbi eredményektől eltérően, nem tapasztaltak változást rostban gazdag takarmány etetésekor a vékonybélben jelzőanyagot tartalmazó bélsárminták vizsgálata alapján becsült tranzitidővel számolva.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

6.1. A nagy rosttartalmú ipari melléktermék alapú takarmánykeverékek etetésének hatása a növendék és hízósertések termelési mutatóira kísérletek alapján levonható következtetések és javaslatok

Az általunk gyűjtött és vizsgált növendék- és hízósertések számára készített 22 teljes értékű takarmánykeverék mintából a receptúrakészítés során 19 esetben törekedtek a legalább 35 g/kg nyersrosttartalom (*Magyar Takarmánykódex*, 2004) biztosítására. A minták többségében a számított nyersrosttartalom az ajánlott szintnél nagyobb volt. Ez azt jelzi, hogy a hazai gyakorlat a magyarországi ajánlást minimum értéknek tekinti és valamivel nagyobb nyersrosttartalmú takarmányok összeállítását részesíti előnyben a növendék sertés korcsoport számára, mindkét, de különösen az „A” genotípus esetében. Ez a jövőben azt vetheti fel, hogy érdemes lenne a Magyar Takarmánykódexben ajánlott rostkoncentrációt újraértékelni.

A takarmánykeverék minták további vizsgálata során a kémiai módszerrel meghatározott és a számított nyersrosttartalom esetében a MSPE érték 67,06; a relatív hiba (relMSPE) 0,227 volt, tehát a számított és mért adatok összességében 22,7% hibával terheltek. A mért és számított adatok átlaga csak kismértékben tért el legalább 35 g/kg nyersrosttartalomtól ($A = 13,0\%$) és a hiba regressziós komponense is viszonylag kicsi volt ($R = 14,5\%$). A relatív hiba a számított és a mért értékek nem megfeleltethetőségéből származott elsősorban. Ez alapján igazolható, hogy a receptúrakészítés során kiszámolt nyersrosttartalom hibájának nagysága független a takarmányban lévő, kémiai vizsgálattal meghatározott nyersrost mennyiségétől.

A rendelkezésre álló vizsgálatok (kémiai, NIRS) eredménye és a receptúra összeállítása során számított nyersrosttartalom közötti különbség oka többféle lehet. Feltételezhető, hogy a receptúra készítés során a különböző takarmánygyártó- és forgalmazó cégek vagy azok a telepek, melyek saját keverő üzemmel rendelkeznek, nem feltétlenül aktualizálják a receptúrát minden egyes új alapanyag tétel esetében a rendelkezésre álló vizsgálati eredmények ellenére sem (kémiai, NIRS). Ennek megfelelően eltérő lehet az alapanyagok, ezen belül a melléktermékek táplálóanyag-tartalma is, tételenként és gyártási technológiától függően.

A melléktermékben és a takarmánykeverékben található hemicellulóz- és oldható rosttartalom hatással van a nyersrost mérés eredményére és annak pontosságára, így a számított és mért

értékek különbségének másik oka az analitika bizonytalanságából származik és különösen függ az adott melléktermék hemicellulóz-tartalmától, és a melléktermék arányától a receptúrában. Ezáltal ajánlott vizsgálni és aktualizálni az alapanyagok nyersrost-, NDF-, ADF- és ADL-tartalmát a receptúra készítés során a rendelkezésre álló vizsgálati eredmények ismeretében.

Az egyes vizsgálati módok (számított és a kémia vizsgálat nyersrosttartalom meghatározása; számított, kémiai és NIRS táplálóanyagtartalom vizsgálat) korrelációs vizsgálata alapján elmondható, hogy közepesen erős kapcsolat van a vizsgált paraméterek között. Ezek alapján a NIRS vizsgálati mód a sertés takarmánykeverékek esetében alternatív módszer lehet a receptúrák és a késztakarmányok valós táplálóanyag-tartalmának telepi ellenőrzésére, gyors mérésére.

A takarmányminták vizsgálata és az értékelési módok összehasonlítása alapján látható, hogy a szakemberek a receptúra összeállításakor „óvatosan” kezelték a takarmánykeverék nyersrosttartalmát. Így az eleve kisebb, de még az ajánlott szintnek (legalább 35 g/kg nyersrosttartalom) megfelelő nyersrosttartalommal összeállított receptúra alapján készült takarmánykeverék szintén kis mennyiségű nyersrosttartalommal fog rendelkezni. A kapott eredmények alapján látható, hogy a kalkulált nyersrosttartalom nem minden esetben felelt meg a kémiai eredmények során gyűjtött valós nyersrosttartalom eredményeinek. Az esetek többségében kevesebb volt a tényleges nyersrosttartalom a kalkulált eredményekhez képest. Ezek alapján nagyobb nyersrostszintek beállítása javasolt a növendék sertéstakarmányok esetében és a késztakarmányok folyamatos táplálóanyag összetételének vizsgálata, kémiai vagy NIRS módszerrel.

A vizsgált takarmánykeverékek mért NDF-, ADF- illetve ADL-tartalma illetve számított hemicellulóz- és cellulóztartalma nagy eltérést mutatott. Ez az alapanyagok és az eltérő arányú melléktermék felhasználással magyarázható. A melléktermék aránya a receptúrákban 3,8% és 14,45% között változott. A mellékterméket tartalmazó takarmánykeverékekben egy (10 takarmányminta) illetve kettő (5 takarmányminta) melléktermék használata volt jellemző. Az általunk vizsgált keverékekben a kukoricacsíra (4-5%), az extrahált repcedara (3-4%), az extrahált napraforgódara (2,5-6,5%) és a malomipari melléktermékek, különösen a búzakorpa (>6%) voltak a legjellemzőbb rostforrások. Ezáltal kijelenthető, hogy a hazai gyakorlat még óvatosan kezeli a melléktermékek körét és a felhasznált mennyiséget a takarmányelőállítás során.

A [(dán lapály×dán nagyfehér)×dán duroc] hibrid genotípusú sertésekkel végzett hízlalási kísérletünkben a nettó energiaérték (NE_s) illetve az ileálisan emészthető aminosavak (SID) alapján összeállított teljes értékű takarmánykeverékekben az extrahált szójadara részaránya jelentősen csökkenthető 13,4%-ról 3,5 %-ra a növendék fázisban (hízlalás 0. – 42. nap), valamint a 10,5%-ról 1,7%-ra a hízófázisban (hízlalás 42. – 67. nap). A szójadara csökkentését a melléktermék hányad növelésével lehetett elérni, 0%-ról 26,8%-ra a növendék- illetve a 0%-ról 32,8%-ra a hízófázisban. Eredményeink megerősítik annak a lehetőségét, hogy a „hagyományos fehérjeforrások”, mint például az extrahált szójadara drasztikusan csökkenthető a receptúrákban, ha különböző melléktermékekkel helyettesítjük azt. Az a tény, hogy az általunk használt receptúra a növendék és hízó fázisban, 4%, illetve 2% extrahált szójadarat tartalmazott bizonyította, hogy a takarmány összetétele megfelelő táplálóanyag-ellátottságot biztosított a kísérletünkben résztvevő nagy növekedési eréllyel rendelkező egyedek számára (átlagos napi súlygyarapodás 840 g a növendék és 1480 g a hízófázisban). Ez azt vetíti elő, hogy az extrahált szójadara nem kötelező alkotóeleme az intenzív genotípusú sertések takarmányának. Ezen eredmények azt bizonyítják, hogy sikeresen beépíthetőek a különböző melléktermékek (akár több melléktermék egyidejű használata is) a növendék és hízósertések receptúrájába nettó energiaszámítással (NE_s) és ileálisan emészthető aminosavakra (SID) formulázott takarmányadagok mellett.

6.2. A növendék sertések gasztrointesztinális simaizom szövetének elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG) vizsgálataival kapcsolatban levonható következtetések és javaslatok

A gasztrointesztinális rendszer simaizomszövetének vizsgálatát célzó pilot teszt tapasztalatai alapján, melyet egy növendék sertéssel végeztünk, altatás mellett, alkalmasnak találtuk a mérési módszert és a miográfiás mérőműszert a sertés béltraktusát alkotó simaizomszövetben végbemenő miográfiás változások detektálására. A hardver (holter és vezetékek), valamint az általunk alkalmazott ISO/Myo szoftver is megfelelő volt az eredmények értékelésére és vizuális megjelenítésére. Ezáltal elmondható, hogy az elektrogasztrográfiai (EGG) módszerek közül, az emésztőtraktust alkotó szervek simaizom szövege által mért miográfiás jelek vizsgálatával foglalkozó, sima izomszövet elektromiográfia (SMEMG) alkalmazható, mint diagnosztikai módszer sertések esetében.

A 4% Opticell rostkiegészítést tartalmazó keveréktakarmány etetésekor az emésztőtraktust alkotó simaizomszövet által produkált akcióspotenciálok maximális

frekvencia értéke (Y max) és a percnkénti összehúzódsok száma (cpm: cycles per minute) szignifikánsan eltért ($p < 0,001$) a kontroll (2,80% nyersrosttartalmú) takarmányadagot fogyasztó állatokétól. Ezáltal az emésztőtraktust alkotó simaizomszövet által produkált akcióspotenciálok maximális frekvencia értékének (Y max) és a percnkénti összehúzódsok számának vizsgálata (cpm: cycles per minute) eredményesnek bizonyult a 4% Opticell rostkiegészítést tartalmazó keveréktakarmány etetésének hatását leíró miográfiás vizsgálatára.

A növendéksertésekre adaptált (*Szűcs és mtsai, 2016*) SMEMG vizsgálati módszerrel, [(dán lapály×dán nagyfehér)×dán duroc] genotípusú hibridekkel egyedi kutricában, mozgásukban nem korlátozott állatokkal végzett etetési kísérletünkben megállapítottuk, hogy a megnövelt (4,9%) nyersrosttartalmú takarmánykeverék etetésének hatása kimutatható a szervspecifikus szűrők alkalmazásával a miográfiás eredmények elemzése során. A *Szűcs és mtsai (2016)* által, valamint humán vonatkozású vizsgálatokban meghatározott frekvenciatartományok az egyes szervek esetében - gyomor (3-5 cpm), vékonybél (20-25 cpm) és vastagbél (1-3 cpm) – eredményesen alkalmazhatók sertés vonatkozásában is.

A kontroll, alacsony (2,9%) rosttartalmú diétához képest, a maximális teljesítményspektrum sűrűség (PsD_{max} , mV^2) abszolút értéke szignifikánsan nőtt ($p < 0,001$) a nagyobb rosttartalmú kísérleti takarmányok etetésekor. Ezáltal a kapott PsD_{max} értékek alapján megállapítható, hogy a vékonybél simaizom szövetének összehúzódsai intenzívebbek voltak a kísérleti, magas rosttartalmú takarmány etetése esetén. A rost jelenléte a kísérleti takarmányban és a PsD_{max} értékek közötti szignifikáns különbség az elfogyasztott takarmányok etetésének hatására mérhetővé vált az SMEMG mérési módszerrel. Így az emésztőtraktusban jelentkező valós, mérhető különbséget tudunk detektálni ezzel a diagnosztikai módszerrel. Ezek az eredmények nagyban hozzájárulhatnak a valós motilitás vizsgálathoz, ezáltal – későbbi kutatómunkákban – a pontos tranzitidő méréséhez.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Növendék- és hízósertéssel [(dán lapály×dán nagyfehér)×dán duroc], 40-110 kg élősúly között végzett etetési vizsgálatban 30% melléktermék (kukorica-DDGS, szójahéj, búzakorpa, szárított répaszelet) részarányig, növedékfázisban 18%, hízófázisban 22% NDF-tartalom mellett, növedékfázisban 13,4%-ról 3,5%-ra, hízófázisban 10,50%-ról 1,70%-ra csökkenthető az extrahált szójadara mennyisége a fontosabb termelési mutatók (átlagos élősúly, napi takarmányfelvétel és súlygyarapodás) statisztikailag igazolható mértékű romlása nélkül ($p > 0,05$). A melléktermékek nagyobb arányú alkalmazásakor a takarmánykeveréket nettó energiaérték (NE_s) illetve ileálisan emészthető aminosav (SID)-tartalom alapján javasolt összeállítani.
2. Igazoltam, hogy a gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetének vizsgálatára irányuló elektromiográfia (Smooth muscle electromyography - SMEMG) *in vivo* és nem-invazív módon alkalmas az emésztőrendszer (gyomor, vékony- és vastagbél) aktivitásának mérésére éber növedék sertéseknél.
3. A növedéksertésekre adaptált SMEMG vizsgálati módszerrel, [(dán lapály×dán nagyfehér)×dán duroc] genotípusú hibridekkel (életkor: 72 ± 3 nap, átlagos testtömeg: 30 ± 3 kg, egyedi kutricában, mozgásukban nem korlátozott állatokkal) végzett etetési kísérletben megállapítottam, hogy a megnövelt (4,9%) nyersrosttartalmú takarmánykeverék etetése a vékonybél simaizom szövetének összehúzóódását szignifikáns mértékben megnövelte ($p < 0,001$). A kontroll, alacsony (2,9%) rosttartalmú diétához képest, a maximális teljesítményspektrum sűrűség (PsD_{max} , mV^2) abszolút értéke szignifikánsan nőtt ($p < 0,001$) a nagyobb rosttartalmú kísérleti takarmányok etetésekor, ezáltal a vékonybél simaizom szövetének összehúzóódásai intenzívebbek voltak a kísérleti, magas rosttartalmú takarmány etetése esetén.
4. A növedéksertésekre adaptált SMEMG vizsgálati módszerrel, [(dán lapály×dán nagyfehér)×dán duroc] genotípusú hibridekkel egyedi kutricában, mozgásukban nem korlátozott állatokban kimutatható a megnövelt (4,9%) nyersrosttartalmú takarmánykeverék etetésének hatása a szervspecifikus szűrők alkalmazásával a

miográfiás eredmények elemzése során. A *Szűcs* és *mtsai* (2016) által, valamint humán vonatkozású vizsgálatokban meghatározott frekvenciatartományok az egyes szervek esetében - gyomor (3-5 cpm), vékonybél (20-25 cpm) és vastagbél (1-3 cpm) - eredményesen alkalmazhatók sertésben is.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Ma már számos vizsgálati mód áll rendelkezésre a szakemberek és a gyakorlat számára is, hogy egyre több információt kaphassunk a felhasználni kívánt alapanyag táplálóértékére, összetételére - így nyersrost illetve rostfrakció tartalmára vonatkozóan. Ezen eljárások egy része széleskörben elterjedt, azonban a legújabb mérési és analitikai technológiák felhasználási köre jelenleg szűkös és még korlátozott hazánkban. Takarmány-alapanyagaink nyersrosttartalmának ellenőrzése rutinvizsgálat jelenleg itthon és külföldön egyaránt, azonban a hazai gyakorlat (laboratóriumok és a takarmányipar elvi receptúráinak döntő többsége) még mindig a nyersrosttartalommal számol, mellőzve a rostfrakció tartalmát vagy további paraméterek (oldhatóság) vizsgálatát.

A tenyésztőmunka eredményeként, illetve a megváltozott takarmányozási körülményekhez való alkalmazkodásnak köszönhetően olyan kedvező fiziológiai változások mentek végbe gazdasági állataink szervezetében (pl. sertés vastagbél térfogatának és tömegének növekedése), melyek új lehetőséget jelenthetnek az alapanyagok, akár különböző melléktermékek szélesebb körű felhasználását illetően vagy a gyakorlat által széleskörben alkalmazott fehérjeforrások (extrahált szójadra) csökkentésében, helyettesítésében.

Ezen megváltozott körülményeket igyekeztünk vizsgálni és értékelni az elvégzett kísérleti munka során.

A hazai növendéksertések (30-70 kg élősúly között) számára forgalmazott teljes értékű takarmánykeverékek vizsgálata során értékeltük azok nyersrosttartalmát és rostfrakció összetételét, illetve a felhasznált alapanyagok és melléktermékek körét. Ezen vizsgálatunkban megállapítottuk, hogy a hagyományos kémiai és NIRS (közeleli infravörös spektroszkópián alapuló) vizsgálati eredménye és a receptúra összeállításakor számított nyersrosttartalom között jelentős eltérés tapasztalható. Továbbá a NIRS és a kémiai analízis eredmények között alacsony mintaszám ($n=22$) mellett, közepesen erős ($R=0,690$, $p<0,01$) korrelációs kapcsolatot állapítottunk meg. Így a NIRS vizsgálati mód a sertés takarmánykeverékek esetében alternatív módszer lehet a receptúrák és a késztakarmányok valós táplálóanyag-tartalmának telepi ellenőrzésére, gyors mérésére.

Eredményeink szerint a sertések számára ajánlott nyersrostszint (*Magyar Takarmánykódex*, 2004) mellett a detergens rost (NDF, ADF, ADL) mennyiségét is figyelembe kell venni, mivel a különböző melléktermékek használatakor a

takarmánykeverékek mért NDF-, ADF- illetve ADL- illetve számított hemicellulóz- és cellulóztartalma nagy változatosságot mutatott.

A vizsgált takarmányok esetében az eltérő és még óvatos arányú melléktermék felhasználás volt meghatározó. A melléktermék aránya a receptúrákban 3,8% és 14,45% között változott, illetve egy vagy két melléktermék együttes használata volt jellemző. Ezáltal látható, hogy a hazai gyakorlat még óvatosan kezeli a melléktermékek körét és a felhasznált mennyiséget a takarmányelőállítás során.

A [(dán lapály×dán nagyfehér)×dán duroc] hibrid genotípusú sertésekkel végzett hízalási kísérletünkben nettó energiaszámítással (NE_s) és ileálisan emészthető aminosavatartalom alapján (SID) összeállított takarmányadagok mellett az extrahált szójadara részarány csökkentésének (13,4%-ról 3,5 %-ra a növedékfázisban – hízalás 0. - 42. napja között; 10,5%-ról 1,7%-ra való mérséklése a hízófázisban – hízalás 42. - 67. napja között) és a melléktermék hányad növelésének (növedékfázis: 26,8%; hízófázis: 32,8% melléktermék-arány) lehetőségét vizsgáltuk. A hízalási kísérlet során alkalmazott receptúra összetétele nem rontotta statisztikailag igazolható mértékben ($p>0,05$) a sertések átlagos élősúlyát, napi takarmányfelvételét és súlygyarapodását. Ezáltal eredményeinkkel bizonyítottuk annak a lehetőségét, hogy – nettó energiaérték és ileálisan emészthető aminosavatartalom alapján összeállított adagoknál – különböző melléktermékek alkalmazásakor az extrahált szójadara részaránya jelentősen csökkenthető a hízósertés receptúrákban.

A hízalási kísérlet során a növedék fázisban alkalmazott (hízalás 0. – 42. nap) 11,8-14,2% kukorica-DDGS, 0,6-3,0% szójahéjpellet, 10% búzakarpa és 2,0% cukorrépapellet, valamint a hízófázisban (hízalás 42.-67. nap) etetett 15,0% kukorica-DDGS, 0,8-4,7% szójahéj pellet, 15% búzakarpa és 2,0% cukorrépapellet nem rontotta statisztikai igazolható módon ($p>0,05$) a sertések teljesítményét. Így ennek megfelelően akár több melléktermék egyidejű használata is lehetséges a növedék és hízósertések receptúrájában nettó energiaszámítással (NE_s) és ileálisan emészthető aminosav (SID)-tartalom alapján összeállított takarmányadagok mellett.

A doktori munka kiterjedt a rost emésztőrendszerre gyakorolt hatásának monitorozására, és egy új vizsgálati metodika alkalmazhatóságának és sertésre való adaptálhatóságának vizsgálatára.

Ezen célok elérésének érdekében a gasztrointesztinális rendszer simaizom szövetének vizsgálatára irányuló elektromiográfiás (Smooth muscle electromyography - SMEMG)

kísérletsorozatunkban megállapítottuk, hogy ezen vizsgálati mód az EGG módszerek közül *in vivo* és nem-invazív módon alkalmas az emésztőrendszer (gyomor, vékony- és vastagbél) aktivitásának mérésére éber növendék sertéseknél. A SMEMG vizsgálati móddal kimutatható volt a 4% rostkiegészítést tartalmazó (4,69% nyersrosttartalmú) kísérleti takarmány etetésének hatása a magyar lapály×magyar nagyfehér egyedeknél (életkor: 40±2 nap, testtömeg: 27±1 kg, egyedi anyagcsere ketrec, n=3). Megállapítottuk, hogy az emésztőtraktust alkotó simaizomszövet által produkált akcióspotenciálok maximális frekvencia értéke (Y_{max}) és a percnkénti összehúzódnások száma (cpm: cycles per minute) szignifikánsan eltért ($p<0,001$) a kontroll (2,80% nyersrosttartalmú) takarmányadagot fogyasztó állatokétól.

A növendéksertésekre adaptált SMEMG vizsgálati módszerrel, és szervspecifikus értékelési módszer alkalmazásával [(dán lapály×dán nagyfehér)×dán duroc] genotípusú hibridekkel (életkor: 72±3 nap, átlagos testtömeg: 30±3 kg, egyedi kutricában, mozgásukban nem korlátozott állatokkal) végzett etetési kísérletünkben megállapítottuk, hogy a megnövelt (4,9%) nyersrosttartalmú takarmánykeverék etetése a vékonybél simaizom szövetének összehúzódnását szignifikáns mértékben növelte ($p<0,001$) a kontroll, alacsony (2,9%) rosttartalmú diétához képest. A maximális teljesítményspektrum sűrűség (PsD_{max} , mV^2) abszolút értéke szignifikánsan nőtt ($p<0,001$) a nagyobb rosttartalmú kísérleti takarmányok etetésekor.

Kísérletünkkel bizonyítani tudtuk, hogy a rost jelenléte a kísérleti takarmányokban és a PsD_{max} értékek közötti szignifikáns különbség az elfogyasztott takarmányok etetésének hatására mérhetővé vált az SMEMG mérési és értékelési módszer által. Így az emésztőtraktusban rost hatására jelentkező valós, mérhető fiziológiás változásokat tudunk detektálni ezzel a diagnosztikai módszerrel az egyes szervek vizsgálata során. Ezek az eredmények nagyban hozzájárulhatnak a motilitás vizsgálathoz illetve a valós (nem becsült) tranzitidő méréséhez nyújthatnak a jövőben további lehetőséget.

9. SUMMARY

Nowadays, both nutrition experts and feeding practice are aided by several available investigation methods in order to receive more and more information concerning the nutrition values and the composition – and thus, the crude fibre and fibre fraction content – of the ingredients to be used. A part of these methods are already in widespread use, however, the domestic field of application for the latest measurement and analytic technologies is scarce and limited at present. Today, the verification of the crude fibre content of our feed ingredients is a routine investigation both domestically and abroad, however, domestic practice (the laboratories, and the vast majority of the conceptual formulas of domestic feed industry) still calculates using crude fibre content, while neglecting fibre fraction content or the investigation of further parameters (solubility).

As a result of breeding efforts, and due to the adaptation to altered feeding circumstances, positive physiological changes occurred in the organ system of our livestock (e.g. increase of the volume and mass of the pig large intestine), which could provide new opportunities for the use of both raw materials and by-products in a wider range, and also for the reduction and supplementation of such protein sources (extracted soybean meal) that are massively used in present practices.

My doctoral study was to examine and evaluate these altered circumstances in the course of our experimental pursuit.

In the course of the investigation of domestic compound feeds for growing pigs (between 30-70kg body weights) crude fibre content and the composition of the fibre fractions were evaluated, as well as the cluster of used raw ingredients and by-products. Significant differences were determined between the outcomes of standard chemical and NIRS (near infrared spectroscopy) examinations and crude fibre content calculated upon the assembly of the formulation. Furthermore, in case of a low number of samples (n=22) moderate-strength correlations ($R=0.690$, $p<0.01$) was allocated between NIRS and chemical analysis outcomes. Thus, the NIRS investigation method could be an alternative for the local verification and rapid measurement of the real nutrition contents of the formulations and ready-made feeds in case of pig compound feeds.

According to the outcomes of the results, besides the recommended level of crude fibre for pigs (*Hungarian Feed Codex*, 2004) the amount of detergent fibres (NDF, ADF,

ADL) also has to be taken into consideration, since in case of the use of various by-products, the NDF-, ADF- and ADL-content of the tested feed compounds as well as their calculated hemicellulose- and cellulose content presented significant deviations.

The by-product ratio in the investigated feeds was diverse, and typically still quite cautious. The ratio of by-products in the formulas varied between 3.8% and 14.45%, and they typically contained one or two by-products. It implies that domestic practice still cautious about the use by-products and their applied quantity in feed production.

In the fattening experiment was conducted with [(Danish Landrace × Danish Large White) × Danish Duroc] hybrid pig genotypes, was examined, whether the content ratio of extracted soybean meal in the compound feeds that were formulated according to net energy value (NE_s) or standardized ileal digestible (SID) amino acids, could be significantly reduced (from 13.4% to 3.5% in the growing phase – between 0 and 42nd day of growing/finishing period; from 10.5% to 1.7% in the finishing phase – between 42nd and 67th day of growing/finishing period), as well as the possibility of increasing the by-product ratio (growing phase: 26.8%, finishing phase 32.8% by-product ratio). The composition of the formula that was fed in the course of the fattening trial did not deteriorate the average body weight, daily feed intake and body weight gain of the pigs in such extent that could be statistically confirmed (p>0.05). Thus, with our outcomes we confirmed the possibility that – in case of diets that are formulated according to net energy value and standardized ileal digestible amino acid content – the ratio of extracted soybean meal could be significantly reduced by the use of various by-products in finishing pig feed formulas.

The 11.8-14.2% maize-DDGS, 0.6-3.0% soybean hull, 10.0% wheat bran and 2.0% sugar beet pulp that were used in growing phase (day 0-42.) during the performance experiment, and the 15.0% maize-DDGS, 0.8-4.7% soybean hull, 15.0% wheat bran and 2.0% sugar beet pulp applied in the finishing phase (day 42-67.) did not decreased the performance of the pigs in a way that could be statistically confirmed (p>0.05). Thus, according to this, the simultaneous use of several by-products is also possible in the feed formulas of growing and finishing pigs upon the use of compound feeds formulated according to net energy value (NE_s) or standardized ileal digestible (SID) amino acid content.

My doctoral study also covered the monitoring of the effects of fibre upon the gastrointestinal system, as well as the investigation, whether a new testing method could be applied and adapted to pigs.

In the pursuit of these objectives, through the electromyographic (Smooth muscle electromyography - SMEMG) series of experiments directed towards the smooth muscle tissue of the gastrointestinal system, was confirmed, that this method – as an EGG method – is useful for the measurement of the activity of the gastrointestinal system (stomach, small and large intestine) in case of freely moving awake growing pigs *in vivo* and in a non-invasive method. By the use of SMEMG investigation method, the effects of feeding an experiment compound feed containing 4% fibre supplement (crude fibre content: 4.69%) could be confirmed at Hungarian Landrace × Hungarian Large White animals (age: 40±2 nap, body weight: 27±1 kg, in individual metabolic cage, n=3). We determined that the maximum frequency values (Y max) of the action potentials generated by the smooth muscle tissue that composes the gastrointestinal tract, and the number of contradiction cycles per minute (cpm: cycles per minute) significantly deviated ($p<0.001$) from the ones measured in case of pigs on control (fibre content: 2.80%) feed diet.

By the use of SMEMG investigation method adapted to growing pigs, in a feeding experiment conducted with [(Danish Landrace × Danish Large White) × Danish Duroc] genotype hybrids (age: 72±3 days, average body weight: 30±3 kg), in individual pens, without moving limitations, we determined that the use of a compound feed with increased crude fibre content (4.9%) significantly increased ($p<0.001$) the motility of the smooth muscle tissue of the small intestine in comparison with the control, low fibre content (2.9%) diet. In case of feeding trial compound feeds with higher fibre content, the absolute value of the maximal power spectrum density (PsD_{max} , mV^2) significantly increased ($p<0.001$).

By our experiment, we were able to confirm that the fibre content in the experiment feed and the significant deviation between PsD_{max} values due to the effects of the use of experimental feed, become measurable by SMEMG evaluation method. Thus, by the use of this diagnostic method, we were able to detect real, measurable physiological changes during the investigation of specific organs. These outcomes could greatly contribute to the investigation of motility as well as providing further possibilities for real (non-estimated) measurement of transit time in the future.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálás vagyok és köszönetem fejezem ki témavezetőimnek, Dr. Tóth Tamásnak és Prof. Dr. Fébel Hedvignek, akik hozzáértésükkel és szakmai tudásukkal segítettek Phd tanulmányaim során. Köszönöm, hogy támogatták és egyengették szakmai és tudományos fejlődésem és elősegítették a tudományos kutatói munkám és tevékenységem kibontakozását. Köszönöm, hogy a Phd tanulmányaim során elvégezendő feladatokhoz és a szükséges kísérletek beállításához megteremtették számomra a szakmai, anyagi és technikai feltételeket.

Szeretném megköszönni Dr. habil. Halas Veronika szakmai segítségét és szerzői munkáját a Phd tanulmányaim során elvégzett kutatások és kísérletek eredményeiből született cikkek publikálása során. Széleskörű, nemzetközileg is elismert tudásával és ismereteivel nagyban hozzá tudott járulni publikációs tevékenységem fejlődéséhez, amiért hálával és köszönettel tartozom neki.

Köszönetem fejezem ki a Szent István Egyetem, Kaposvári Campus, Takarmányozástani Intézeti Tanszék munkatársai közül Prof. Dr. Tossenberger János, intézetigazgatónak, aki lehetőséget adott és támogatta a Phd tanulmányaimat; Sudár Gergő, egyetemi tanársegédnek, aki a kísérleti munka tervezése során aktívan támogattott és segített a kísérletek lebonyolításában, valamint Laki Bence, technikusnak, aki folyamatosan aktívan közreműködött és segített a kísérleti munka megvalósításában valamennyi tanszéki kísérletem során.

Köszönettel tartozom Grosz Györgynek, az MSB-MET Kft. ügyvezetőjének, aki lehetőséget adott számomra, a miográfiás mérőműszer tesztelésére sertés esetében, és biztosította a miográfiás vizsgálatokhoz szükséges technikai és szakmai támogatást. Továbbá, Süle Miklósnak, az MSB-MET Kft. munkatársának, aki segített, hogy a miográfiás eredmények értékeléséhez szükséges szoftver használatát elsajátíthassam és a kiértékelés folyamatát tudásával és tapasztalatával támogatta.

Szeretném megköszönni a miográfiás vizsgálatok eredményeinek értékelése során nyújtott segítséget, szakmai támogatást és a kiértékeléshez szükséges ismeretek és tapasztalatok megosztásának lehetőségét Dr. habil. Gáspár Róbert, egyetemi docensnek, a Szegedi Tudomány Egyetem, Farmakológiai és Farmakoterápiás Tanszék munkatársának és Dr. Szűcs Kálmán, egyetemi tanársegédnek.

Köszönettel tartozom, a Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszertudományi Kar, Állattudományi Tanszék munkatársainak, a laboratórium és a kísérleti telep dolgozóinak, akik Phd tanulmányaim első évében támogattak és lehetőséget adtak a kísérleti munka megkezdésére.

Szeretném megköszönni Czompó Krisztián, a Bonafarm-Bábolna Takarmány Kft. receptgazdálkodási vezetőjének szakmai támogatását, melyet a kísérletekhez szükséges takarmányok receptúrázása során nyújtott számomra.

Köszönettel tartozom, Dr. Bázár Györgynek, aki a publikálási folyamatokban akítvan segítette és támogatta a cikkek elkészülésének folyamatát, és tudásával valamint széleskörű publikálási tapasztalataival hozzájárult e területen történő fejlődésemhez.

Köszönettel és hálával tartozom Édesapámnak és a rábacsécsényi sertéstelep dolgozóinak a türelmükért és segítségükért azért, hogy hozzájárultak és segítettek, abban hogy a fejlesztéshez szükséges ötleteket kipróbálhassam a saját sertés állományunkban, telepi körülmények között.

Külön köszönettel tartozom, dr. Varga Zsolt, állatorvosnak, aki ötletével segítette a miográfiás mérőműszer sertésre való rögzítésének megvalósítását.

Végül köszönöm Férjemnek, Családomnak és Barátaimnak a támogatást, türelmet és a biztatást, melyet Phd tanulmányaim alatt biztosítottak számomra.

11. IRODALOMJEGYZÉK

44/2003. (IV. 26.) FVM rendelet (2003): A Magyar Takarmánykódex kötelező előírásairól. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0300044.fvm>

767/2009/EK rendelet (2009): A takarmányok forgalomba hozataláról és felhasználásáról, az 1831/2003/EK rendelet módosításáról, valamint a 79/373/EGK tanácsi irányelv, a 80/511/EGK bizottsági irányelv, a 82/471/EGK, 83/228/EGK, 93/74/EGK, 93/113/EK és 96/25/EK tanácsi irányelv és a 2004/217/EK bizottsági határozat hatályon kívül helyezéséről. <https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:229:0001:0028:hu:pdf>

ADEOLA, O. – LEWIS, A. – SOUTHERN, L.: Digestion and balance techniques in pigs. In *Swine Nutrition*; CRC Press: Washington, DC, USA, 2001. 903–916.

AGYEKUM, A. K. – SLOMINSKI, B. A. – NYACHOTI, C. M.: Organ weight, intestinal morphology, and fasting whole-body oxygen consumption in growing pigs fed diets containing distillers dried grains with solubles alone or in combination with a multienzyme supplement. *J. Anim. Sci.* 2012. 90. 3032–3040.

ALVAREZ, W. C.: The electrogastrogram and what it shows. *J.A.M.A.*, 1922. 78. 1116–1118.

AMARIS, M. A. – SANMIGUEL, C. P. – SADOWSKI, D. C. – BOWES, K. L. – MINTCHEV, M. P.: Electrical activity from colon overlaps with normal gastric electrical activity in cutaneous recordings. *Dig. Dis. Sci.*, 2002. 47. 2480–2485.

ANGUITA, M. – GASA, J. – NOFRARIAS, M. – MARTÍN-ORÚE, S. M. – PÉREZ, J. F.: Effect of coarse ground corn, sugar beet pulp and wheat bran on the voluntary intake and physicochemical characteristics of digesta of growing pigs. *Livest. Sci.*, 2007. 107. 182–191.

AOAC: Official Methods of Analytical methods of Analysis, AOAC International, Washington, DC. 2006.

ASMUS, M. D. – DEROUCHÉY, J. M. – TOKACH, M. D. – DRITZ, S. S. – HOUSER, T. A. – NELSEN, J. L. – GOODBAND, R. D.: Effects of lowering dietary fiber before marketing on finishing pig growth performance, carcass characteristics, carcass fat quality, and intestinal weights. *J. Anim. Sci.*, 2014. 9. 119–128.

ASP, N. G.: Dietary carbohydrates: classification by chemistry and physiology. *Food. Chem.*, 1996. 57. 9–14.

AUGSPURGER, N. R. – PETERSEN, G. I. – SPENCER, J. D. – PARR, E. N.: Alternating dietary inclusion of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) did not impact growth performance of finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2008. 86. 523. (Abstr.)

BACH KNUDSEN, K. E.: Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed. Sci. Tech.*, 1997. 67. 319–338.

BACH-KNUDSEN, K. E.: Influence of feed and feed structure on disease and welfare of pigs, In: Hovi, M. – T. Baars, T. (Eds.): Breeding and feeding for animal health and welfare in organic livestock systems. Proc. 4th NAHWOA Workshop Wageningen. 2001. 169–183.

BACH KNUDSEN, K. E.: Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poult. Sci.*, 2014. 93. 2380–2393.

- BACH KNUDSEN, K. E. – JENSEN, B. B. – HANSEN, I.: Oat bran but not a beta-glucan-enriched oat fraction enhances butyrate production in the large intestine of pigs. *J. Nutr.* 1993. 123. 1235–1247.
- BACH KNUDSEN, K. E. – JØRGENSEN, H.: Intestinal Degradation of Dietary Carbohydrates - from Birth to Maturity. In book: *Digestive Physiology of Pigs*. 8th Edition, 26. Chapter, CABI Publishing Kiadó, Felelős szerkeztő: Lindberg, J. E. és Ogle, B. 2001. 109–120.
- BACH KNUDSEN, K.E. – LÆRKE, H.N.: *Feed Evaluation Science*, Wageningen Academic Press 126. 2018.
- BAREA, R. – DUBOIS, S. – GILBERT, H. – SELIER, P. – VAN MILGEN, J. – NOBLET, J.: Energy utilization in pigs selected for high and low residual feed intake. *J. Anim. Sci.*, 2010. 88. 2062–2072.
- BASS, P. – CODE, C. F. – LAMBERT, E. H.: Motor and electric activity of the duodenum. *Am. J. Physiol.*, 1961. 201. 287–291.
- BASTIANELLI, D. – SAUVANT, D. – RERAT, A.: Mathematical modeling of digestion and nutrient absorption in pigs. *J. Anim. Sci.* 1996. 1873–1887.
- BEMILLER, J.: *Carbohydrate Chemistry for Food Scientist*, 2nd Ed. St. Paul, MN: AACC, International, Inc. 2007.
- BIBBY, J. – TOUTENBURG, H.: *Prediction and Improved Estimation in Linear Models*. University of Minnesota, Wiley, 1977.
- BIKKER, P. – DIRKZWAGER, A. – FLEDDERUS, J. – TREVISI, P. – LE HUEROU-LURON, I. – LALLES, J. P. – AWATI, A.: The effect of dietary protein and fermentable carbohydrates levels on growth performance and intestinal characteristics in newly weaned piglets. *J. Anim. Sci.*, 2006. 84. 3337–3345.
- BOKORI, J. – GUNDEL, J. – HEROLD, I. – KAKUK, T. – KOVÁCS, G. – MÉZES, M. – SCMIDT, J. – SZIGETI, G. – VINCZE, L.: *A takarmányozás Alapjai*. Szerkesztő: Schmidt, J. *Mezőgazda Kiadó*, 2003.
- BRETENSKY, M. – NITRAYOVA, S. – BOMBA, A. – PATRAS, P. – STROJNY, L. – SZABADOSOVA, V. – PRAMUKOVA, B. – BERTKOVA, I.: The content of short chain fatty acids in the jejunal digesta, caecal digesta and faeces of growing pigs. *Livest. Sci.*, 2017. 106-110.
- BROWN, B. H. – SMALLWOOD, R. H. – DUTHIE, H. L. – STODDARD, C. J.: Intestinal smooth muscle electrical potentials recorded from surface electrodes. *Med. Biol. Eng.*, 1975. 13. 97–103.
- BURES, J. – PEJCHAL, J. – KVETINA, J.: Morphometric analysis of the porcine gastrointestinal tract in a 10-day high-dose indomethacin administration with or without probiotic bacteria *Escherichia coli* Nissle. *Hum. Exp. Toxicol.*, 2011a. 30. 1955–1962.
- BURES, J. – SMAJS, D. – KVETINA, J.: Bacteriocinogeny in experimental pigs treated with indomethacin and *Escherichia coli* Nissle. *World. J. Gastroenterol.*, 2011b. 17. 609–617.
- BURES, J. – KVETINA, J. – RADOCHOVA, V. – TACHECI, I. – PETEROVA, E. – HERMAN, D.: The pharmacokinetic parameters and the effect of a single and repeated

- doses of memantine on gastric myoelectric activity in experimental pigs. *PLoS ONE*, 2020. 15.
- CARNEIRO, M. – LORDELO, M. – CUNHA, L. F. – FREIRE, J.: Microbial activity in the gut of piglets: Effect of fibre source and enzyme supplementation. *Livest. Sci.*, 2007. 108. 262–265.
- CHABEAUTI, E. – NOBLET, J. – CARRE, B.: Digestion of plant cell walls from four different sources in growing pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 1991. 32. 207–213.
- CHEE, K. – CHUN, K. S. – HUH, B. D. – CHOI, J. H. – CHUNG, M. K. – LEE, H. S. – SHIN, I. S. – WHANG, K. Y.: Comparative feeding values of soybean hulls and wheat bran for growing and finishing swine. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 2005. 18. 861–867.
- CHEN, J. – MCCALLUM, R.W.: Electrogastrography: measurement, analysis and prospective applications. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 1991. 29. 339–350.
- CHEN, J. – MCCALLUM, R.W.: Electrogastrographic parameters and their clinical significance. In *Electrogastrography: principles and applications*. Chen J, McCallum RW (eds). Raven Press, New York, 1994. 45–73.
- CHEN, H. – MAO, X.B. – CHE, L.Q. – YU, B. – HE, J. – YU, J. – HAN, G.Q. – HUANG, Z. Q. – ZHENG, P. – CHEN, D.W.: Impact of fiber types on gut microbiota, gut environment and gut function in fattening pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 2014. 195. 101–111.
- CHEN, J. D. – SCHIRMER, B. D. – MCCALLUM, R. W.: Serosal and cutaneous recordings of gastric myoelectrical activity in patients with gastroparesis. *Am. J. Physiol.*, 1994. 266. 90–98.
- CHEN, J. – MCCALLUM, R. W. – RICHARDS, R.: Frequency components of the electrogastrogram and their correlations with gastrointestinal contractions in humans. *Med. Biol Eng. Comput.*, 1993. 31. 1–60.
- CHERBUT, C., – ALBINA, E. – CHAMP, M.: Action of guar gums on the viscosity of digestive contents and on the gastrointestinal motor function in pigs. *Digestion*, 1990. 46. 205–213.
- CHOCT, M.: Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. *Feed Milling International*, 1997. 6. 13–26.
- CHOI, H. – KIM, B.G.: A low-fiber diet requires a longer adaptation period before collecting feces of pigs compared with a high-fiber diet in digestibility experiments using the inert marker method. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2019. 114254.
- CHRISTENSEN, J. – SCHELD, H. H. – CLIFTON, J. A.: The basic electrical rhythm of the duodenum in normal subjects and in patients with thyroid disease. *J. Clin. Invest.*, 1964. 43. 1659–1667.
- CLAUS, R. – GÜNTNER, D. – LETZGUB, H.: Effects of feeding fat-coated butyrate on mucosal morphology and function in the small intestine of the pig. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 2007. 91. 312–318.
- COBLE, K. F. – DEROUCHÉY, J. M. – TOKACH, M. D. – DRITZ, S. S. – GOODBAND, R. D. – WOODWORTH, J. C.: Effects of withdrawing high-fiber ingredients before

marketing on finishing pig growth performance, carcass characteristics, and intestinal weights. *J. Anim. Sci.*, 96. 2018. 168–180.

- COOK, D. – PATON, N. – GIBSON, M.: Effect of dietary level of distillers dried grains with solubles (DDGS) on growth performance, mortality, and carcass characteristics of grow-finish barrows and gilts. *J. Anim. Sci.*, 2005. 83. 335. (Abstr.)
- COUTURIER, P. – ROSE, C. – COUTURIER-TURFIN, N. H. – DEBRAV, C.: Electromyography of the colon in situ. *Gastroenterology.*, 1969. 56. 317–322.
- CROMWELL, G. L. – AZAIN, M. J. – ADEOLA, O. – BAIDOO, S. K. – CARTER, S. D. – CRENSHAW, T. D. – KIM, S. W. – MAHAN, D. C. – MILLER, P. S. – SHANNON, M. C.: Corn distillers dried grains with solubles in diets for growing-finishing pigs: A cooperative study. *J. Anim. Sci.*, 2011. 89. 2801–2811.
- CUMMINGS, J. H. – ROBERFROID, M.B. – ANDERSSON, H. – BATH, C. – FERRO-LUZZI, A. – GHOOS, J. – GIBNEY, M. – HERMONSEN, K. – JAMES, W.P.T. – KORVER, O. – LAIRON, D. – PASCAL, G. – VORAGEN, A. G. S.: A new look at dietary carbohydrate: Chemistry, physiology and health. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 1997. 51. 417–423.
- CVB Feed Table: Chemical composition and nutritional values of feedstuffs. 2016. www.cvbiervoeding.nl
- DANIEL, E. E. – CARLOW, D. R. – WACHTER, B. T. – SUTHERLAND, W. H. – BOGOCH, A.: Electrical activity of the small intestine. *Gastroenterology.*, 1959. 37. 268.
- DANIEL, E. E. – WACHTER, B. T. – HONOUR, A. J. – BOGOCH, A.: The relationship between electrical and mechanical activity of the small intestine of dog and man. *Can. J. Biochem.*, 1960. 38. 777. (Abstr.)
- D'EATH, R. B. – TOLKAMP, B. J. – KYRIAZAKIS, I. – LAWRENCE, A. B.: 'Freedom from hunger' and preventing obesity: the animal welfare implications of reducing food quantity or quality. *Anim. Behav.*, 2009. 77. 275–288.
- DELLIAUX, S. – STEINBERG, J. G. – LESAVRE, N. – PAGANELLI, F. – OLIVER, C. – JAMMES, Y.: Effect of long-term atorvastatin treatment on the electrophysiological and mechanical functions of muscle. *Int. J. Clin. Pharmacol. Ther.*, 2006. 44. 251–261.
- DE LANGE, C. – VAN MILGEN, J. – DUBOIS, S. – NOBLET, J.: Energy cost of ingesting and excreting indigestible material in growing pigs is minimal. *Anim. Res.*, 2006. 55. 551–562.
- DE LANGE, C. – PLUSKE, J. – GONG, J. – NYACHOTI, C. M.: Strategic use of feed ingredients and feed additives to stimulate gut health and development in young pigs. *Livest. Sci.*, 2010. 134. 124–134.
- DEDECKER, J. M. – ELLIS, M. – WOLTER, B. F. – SPENCER, J. – WEBEL, D. M. – BERTELSEN, C. R. – PETERSON, B. A.: Effects of dietary level of distiller dried grains with solubles and fat on the growth performance of growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2005. 83. 79. (Abstr.)
- DÉGEN, L. – HALAS, V. – BABINSZKY, L.: Effect of dietary fibre on protein and fat digestibility and its consequences on diet formulation for growing and fattening pigs: A review. *Acta Agric. Scand. Section A. Animal Science.*, 2007. 57. 1–9.

- DIERICK, N.A. – VERVAEKE, I.J. – DEMEYER, D.I. – DECUYPERE, J.A.: Approach to the energetic importance of fibre digestion in pigs, I. Importance of fermentation in the overall energy supply. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 1989. 23. 141–167.
- DLG: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft: Empfehlungen zur Sauen-und Ferkelfütterung, DLG Information database. 2008
- DOPPENBERG, J. – VAN DER AAR, P. J.: The use of alternative protein and energy sources in practical swine and poultry feed formulations: Opportunities and Pitfalls. *WIANF conference*, Budapest. 2015. 10. 15–17.
- DRESCHER, A. J. – JOHNSTON, L. J. – SHURSON, G. C. – GOIHL, J.: Use of 20% dried distillers grains with solubles (DDGS) and high amounts of synthetic amino acids to replace soybean meal in grower-finisher swine diets. *J. Anim. Sci.*, 2008. 86. 28. (Abstr.)
- DROCHNER, W. – KERLER, A. – ZACHARIAS, B.: Pectin in pig nutrition, a comparative review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 2004. 88. 367–380.
- DUTTLINGER, A. W. – TOKACH, M. D. – DRITZ, S. S. – DEROUCHY, J. M. – GOODBAND, J. L. – GOODBAND, R. D. – PRUSA, H. J.: Effects of increasing dietary glycerol and dried distillers grains with solubles on growth performance of finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2008. 86. 607. (Abstr.)
- ENGLYST, K. N. – LIU, S. – ENGLYST, H. N.: Nutritional characterization and measure of dietary carbohydrates. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2007. 61. 19–39.
- FEKETE, L. – BAKITY, B. – MICSKÓ, A. – BARANYÁK, ZS. – BÁRDOS, GY.: Non-invasive electro-gastro-intestinogram (EGIG) recording under physiological conditions. *AARMS.*, 2014. 13. 493–505.
- FERNANDEZ, J. A. – JORGENSEN, H. – JUST, A.: Comparative digestibility experiments with growing pigs and adult sows. *Anim. Prod.* 1986. 43. 127–132.
- FONSECA, L. A. – THOMAZ, M. C. – WATANABE, P. H. – DOS SANTOS, U. – BERTOCCO, J. M. – BORGES, A. – DANIEL, E. – ISELDA, G. C.: Fiber sources in diets for newly weaned piglets. *R. Bras. Zootec.*, 2012. 41. 636–642.
- FRANK, G. R. – AHERNE, F. X. – JENSEN, A. H.: A study of the relationship between performance and dietary component digestibility by swine fed different level of dietary fiber. *J. Anim. Sci.*, 1983. 57. 645-654.
- FREIRE, J. P. B. – GUERREIRO, A. J. G. – CUNHA, L. F. – AUMAITRE, A.: Effect of dietary fibre source on total tract digestibility, caecum volatile fatty acids and digestive transit time in the weaned piglet. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 2000. 87. 71–83.
- FU, S. X. – JOHNSTON, M. – FENT, R. W. – KENDALL, D. C. – USRY, J. L. – BOYD, R. D. – ALLEE, G. L.: Effect of corn distiller's dried grains with solubles (DDGS) on growth, carcass characteristics, and fecal volume in growing finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2004. 82. 80. (Abstract)
- GARRETT, J. M. – SCHLEGEL, J. F. – HOFFMAN, H. N.: II. Intraluminal detection of intestinal electrical activity. *Fed. Proc.*, 1963. 22. 225.
- GENERAL NUTRITION'S FOR SWINE: Kansas State University Agricultural, Experiment Station and Cooperative Extension Service, University Press, 2007.

- GERRITSEN, R. – VAN DER AAR, P. – MOLIST, F.: Insoluble non-starch polysaccharides in diets for weaned piglets. *J. Anim. Sci.*, 2012. 90. 318–320.
- GRAHAM, A. B. – GOODBAND, R. D. – TOKACH, M. D. – DRITZ, S. S. – DEROUCHÉY, J. M. – NITIKANCHANA, S.: The interactive effects of high-fat, high-fiber diets and ractopamine HCl on finishing pig growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality. *J. Anim. Sci.*, 2014. 92. 4585–4597.
- GRAHAM, H. – HESSELMAN, K. – A'MAN, P.: The influence of wheat bran and sugar beet pulp on the digestibility of dietary components in a cereal-based pig diet. *J. Nutr.*, 1986. 116. 242.
- GRALA, W. – VERSTEGEN, M. W. A. – JANSMAN, A. J. M.: Nitrogen utilization in pigs fed diets with soybean and rapeseed products leading to different ileal endogenous nitrogen losses. *J. Anim. Sci.*, 1998. 76. 569–577.
- GRALAPP, A. K. – POWERS, W. J. – FAUST, M. A. – BUNDY, D. S.: Effects of dietary ingredients on manure characteristics and odorous emissions from swine. *J. Anim. Sci.*, 2002. 80. 1512–1519.
- GUERIN, S. – RAMONET, Y. – LE CLOAREC, J. – MEUNIER-SALAÜN, M. C. – MALBERT, C. H.: Changes in intragastric meal distribution are better predictors of gastric emptying rate in conscious pigs than are meal viscosity or dietary fibre concentration. *Br. J. Nutr.*, 2001. 85. 343–350.
- GUTIERREZ, N. – KERR, B. – PATIENCE, J.: Effect of insoluble-low fermentable fiber from corn- ethanol distillation origin on energy, fiber, and amino acid digestibility, hindgut degradability of fiber, and growth performance of pigs. *J. Anim. Sci.*, 2013. 91. 5314–5325.
- GUTIERREZ, N. A. – SERÃO, N. V. L. – KERR, B. J. – ZIJLSTRA, R. T. – PATIENCE, J.F.: Relationships among dietary fiber components and the digestibility of energy, dietary fiber, and amino acids, and energy content of 9 corn co-products fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2014. 92. 4505–4517.
- HALAS, V. – BABINSZKY, L.: Role of Dietary Polysaccharides in Monogastric Farm Animal Nutrition. In: Noureddine, Benkeblia (szerk.) Polysaccharides: Natural Fibers in Food and Nutrition. Boca Raton (FL), Amerikai Egyesült Államok. CRC Press, 2014. 2429–476.
- HARDMAN, S.J.: Effect of dietary distillers dried grains with solubles (DDGS) and pig removal strategy at harvest on the growth performance, carcass characteristics, and fat quality of growing-finishing pigs. In: MS Thesis. Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana. 2013.
- HEDEMANN, M. S. – BACH KNUDSEN, K. E.: Resistant starch for weaning pigs—effect on concentration of short chain fatty acids in digesta and intestinal morphology. *Livest. Sci.*, 2007. 108. 175–177.
- HENNEBERG, W. – STOHMANN, F.: Über das Erhaltungsfutter Volljährigen Rindvieh. *Journal Landwirtschaft*, 1859. 3. 485–551.
- HENRY, R. J.: Pentosan and (1-3),(1-4)-beta-glucan in endosperm and whole grain of wheat, barley, oats and rye. *J. Cereal. Sci.*, 1987. 6. 253–258. ^[L]_[SEP]
- HINSON, R. – ALLEE, G. – GRINSTEAD, G. – CORRIGAN, B. – LESS, J.: Effect of

amino acid program (Low vs. High) and dried distiller's grains with solubles (DDGS) on finishing pig performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.*, 2007. 85. 437. (Abstr.)

- HOCKE, M. – SCHONE, U. – RICHERT, H. – GORNERT, P. – KELLER, J. – LAYER, P. – STALLMACH, A.: Every slow-wave impulse is associated with motor activity of the human stomach. *Am. J. Physiol-Gastr. L.*, 2009. 296. 709–716.
- HOLADAY, D.A. – VOLK, H. – MANDELL, J.: Electrical activity of the small intestine with special reference to the origin of rhythmicity. *Am. J. Physiol.*, 1985. 195. 505.
- HOPWOOD, D. E. – PETHICK, D. W. – PLUSKE, J. R. – HAMPSON, D. J.: Addition of pearl barley to a rice-based diet for newly weaned piglets increases the viscosity of the intestinal contents, reduces starch digestibility and exacerbates post-weaning colibacillosis. *Br. J. Nutr.*, 2004. 92. 419–427.
- HÖGBERG, A. – LINDBERG, J. E.: The effect of level and type of cereal non-starch polysaccharides on the performance, nutrient utilization and gut environment of pigs around weaning. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 2006. 127. 200–219.
- HUISMAN, J. – DEN HARTOG, L. A. – BOER, H. – VAN WEERDEN, E. J. – THIELEN, W. J. G.: The effect of various carbohydrate sources on the ileal and faecal digestibility of protein and amino acids in pigs. In: Proceedings of the 3rd International Seminar on Digestive Physiology in the Pigs. Copenhagen, 1985. 207–210.
- IKEGAMI, S. – TSUCHIHASHI, F. – TSUCHIHASHI, H. N.: Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *J. Nutr.*, 1990. 120. 353–60.
- IVARSSON, E. – FRANKOW-LINDBERG, B.E. – ANDERSSON, K. – LINDBERG, J. E.: Growth performance, digestibility and faecal coliform bacteria in weaned piglets fed a cereal-based diet including either chicory (*Cichorium intybus* L) or ribwort (*Plantago lanceolata* L) forage. *Animal*, 2011. 5. 4. 558–564.
- JENKIN, S. – CARTER, S. – BUNDY, J. – LACHMANN, M. – HANCOCK, J. – COLE, N.: Determination of P-bioavailability in corn and sorghum distillers dried grains with solubles for growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2007. 85. 113. (Abstr.)
- JHA, R. – BERROCOSO, J. D.: Review: Dietary Fiber Utilization And Its Effects On physiological functions and gut health of swine. *Animal.*, 2015. 9. 1441–1452.
- JHA, R. – HTOO, J.K. – YOUNG, M.G. – BELTRANENA, E. – ZIJLSTRA, R.T.: Effects of increasing co-product inclusion and reducing dietary protein on growth performance, carcass characteristics, and fatty acid profile of growing–finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2013. 91. 2178–2191.
- JØRGENSEN, H. – SERENA, A. – HEDEMANN, M.S. – BACH KNUDSEN, K. E.: The fermentative capacity of growing pigs and adult sows fed diets with contrasting type and level of dietary fibre. *Livest. Sci.*, 2007. 109. 111–114.
- JØRGENSEN, H. – ZHAO, X.Q. – EGGUM, B.O.: The influence of dietary fiber and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hindgut and energy metabolism in pigs. *Br. J. Nutr.*, 1996. 75. 365–378.

- JUST, A.: The role of the large intestine in the digestion of nutrients and amino acid utilization in monogastrics. In: Protein metabolism and nutrition. Proc. IVth Int. Symp. INRA. Clermont-Ferrand, France. 1983. 289–309.
- KAKUK, T. – SCHMIDT, J.: Takarmányozás. A nyersrost szerepe a gazdasági állatok takarmányozásában. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1988.
- KANSAS STATE UNIVERSITY: Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service General Nutrition for Swine. 2007.
- KARALI, T. T.: Comparison of the gastrointestinal anatomy, physiology and biochemistry of humans and commonly used laboratory animals. *Biopharm. Drug. Dispos.*, 1995. 16. 351–380.
- KARR-LILIENTHAL, L. K. – KADZERE, C. T. – GRIESHOP, C. M. – FAHEY, G. C.: Chemical and nutritional properties of soybean carbohydrates as related to nonruminants: a review. *Lives. Prod. Sci.*, 2005. 97. 1–12.
- KESTING, U. – SCHNABEL, E. – BOLDUAN, G.: Colon capacity of the sow [Zur Dickdarmkapazität der Sau, in German]. In: Digestive physiology of the Hindgut. *Adv. Anim. Phys. Anim. Nutr.*, 1991. 22. 84–88.
- KIL, D. Y. – KIM, B. G. – STEIN, H. H.: Feed energy evaluation for growing pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 2013. 9. 1205–1217.
- KIM, J. C. – MULLAN, B. P. – HAMPSON, D. J. – PLUSKE, J. R.: Addition of oat hulls to an extruded rice-based diet for weaner pigs ameliorates the incidence of diarrhoea and reduces indices of protein fermentation in the gastrointestinal tract. *Br. J. Nutr.*, 2008. 99. 1217–1225.
- KOPÁCOVÁ, M. – TACHECÍ, I. – KVETINA, J.: Wireless video capsule enteroscopy in preclinical studies: methodical design of its applicability in experimental pigs. *Dig. Dis. Sci.*, 2010. 55. 626–630.
- KVETINA, J. – KUNES, M. – BURES, J.: The use of wireless capsule enteroscopy in a preclinical study: a novel diagnostic tool for indomethacin-induced gastrointestinal injury in experimental pigs. *Neuro. Endocrinol. Lett.*, 2008. 29. 763–769.
- KVETINA, J. – TACHECI, I. – PAVLIK, M. – KOPACOVA, M. – REJCHRT, S. – DOUDA, T.: Use of electrogastrography in preclinical studies of cholinergic and anticholinergic agents in experimental pigs. *Physiol. Res.*, 2015. 5. 647–652.
- LAMMERS, W. J.: Normal and abnormal electrical propagation in the small intestine. *Acta. Physiol.*, 2015. 213. 349–359.
- LAPLACE, J.P.: The transit of digesta in the different parts of the digestive tract of the pig. In *Nutrition in Health and Disease and International Development*, Harper, A.E.; Davis, K. Eds.; Alan. R. Liss, Inc.; New York, United States, 1980. 847–872.
- LATYMER, E. A. – LOW, A. G. – FADDEN, K. – SAMBROOK, I. E. – WOODLEY, S. C. – KEAL, H. D.: Measurement of transit time of digesta through sections of gastrointestinal tract of pigs fed with diets containing various sources of dietary fibre (non-starch polysaccharides). *Arch. Anim. Nutr.*, 1990. 40. 667–680.
- LE GALL, M. – WARPECHOWSKI M. – JAGUELIN-PEYRAUD, Y. – NOBLET, J.: Influence of dietary fibre level and pelleting on digestibility of energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *Animal.*, 2009. 3. 352–359.

- LE GOFF, G. – NOBLET, M. J.: Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.*, 2001. 79. 2418–2427.
- LE GOFF, G. – NOBLET, M. J.: Influence of dietary fibre on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Anim. Sci.*, 2002. 74. 503–515.
- LETERME, P. – VAN LEEUWEN, P. – THÉWIS, A. – HUISMAN, J.: Chemical composition of pea fibre isolates and their effect on the endogenous amino acid flow at the ileum of the pig. *J. Sci. Food. Agric.*, 1996. 72. 127–134.
- LIBAO-MERCADO, A. J. – LEESON, S. – LANGER, S.: Efficiency of utilizing ileal digestible lysine and threonine for whole body protein deposition in growing pigs is reduced when dietary casein is replaced by wheat shorts. *J. Anim. Sci.*, 2006. 84. 1362–74.
- LINNEEN, S. K. – DEROUCHY, J. M. – DRITZ, S. S. – GOODBAND, R. D. – TOKACH, M. D. – NELSSSEN, J. L.: Effects of dried distillers grains with solubles on growing and finishing pig performance in a commercial environment. *J. Anim. Sci.*, 2008. 86. 1579–1587.
- LIU, Z. – ZHONG, R. – CHEN, L. – XIE, F. – LI, K. – ZHANG, H.: Effects of Collection Durations on the Determination of Energy Values and Nutrient Digestibility of High-Fiber Diets in Growing Pigs by Total Fecal Collection Method. *Anim.* 2020. 227–238.
- LUNN, J. – BUTTRISS, J. L.: Carbohydrates and dietary fibre. *Nutr. Bull.*, 2007. 32. 21–64.
- MAGYAR TAKARMÁNYKÓDEX: II. Kötet Gazdasági állatok táplálóanyag-szükséglete, takarmányok összetétele és mikotoxin határértékek a takarmánykeverékekben. Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet, Budapest, 2004.
- MATEOS, G. G. – MARTÍN, F. – LATORRE, M. A. – VICENTE, B. – LAZARO, R.: Inclusion of oat hulls in diets for young pigs based on cooked maize or cooked rice. *Anim. Sci.*, 2006. 82. 57–63.
- MCEWEN, P. L.: The effects of distillers dried grains with solubles inclusion rate and gender on pig growth performance. *Can. J. Anim. Sci.*, 2006. 86. 594. (Abstr.)
- MCEWEN, P. L.: Canadian experience with feeding DDGS. Pages 115–120 in Proc. 8th London Swine Conf., London, Ontario, Canada. Univ. Guelph, Guelph, Ontario, Canada. 2008.
- MERTENS, D. R.: Challenges in measuring insoluble dietary fiber. *J. Anim. Sci.*, 2003. 81. 3233–3249.
- METZLER, B. – MOSENTHIN, R.: A review of interactions between dietary fiber and the gastrointestinal microbiota and their consequences on intestinal phosphorus metabolism in growing pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 2008. 21. 603–615.
- MIQUEL, N. – BACH KNUDSEN, K. – JORGENSEN, H.: Impact of diets varying in dietary fibre characteristics on gastric emptying in pregnant sows. *Arch. Anim. Nutr.*, 2001. 55. 121–145.
- MOLIST, F. – GÓMEZ DE SEGURA, A. – GASA, J. – HERMES, R. G. – MANZANILLA, E. G. – ANGUITA, M. – PÉREZ, J. F.: Effects of the insoluble and soluble dietary fibre on the physicochemical properties of digesta and the microbial activity in early weaned piglets. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 2009. 149. 346–353.

- MOLIST, F. – YWAZAKI, M. – GÓMEZ DE SEGURA, A. – HERMES, R. G. – GASA, J. – PÉREZ, J. F.: Administration of loperamide and addition of wheat bran to the diets of weaner pigs decrease the incidence of diarrhea and enhance their gut maturation. *Br. J. Nutr.*, 2010. 103. 879–885.
- MOLIST, F. – HERMES, R.G. – GÓMEZ DE SEGURA, A. – MARTÍN-ORÚE, S. M. – GASA, J. – MANZANILLA, E. G. – PÉREZ, J. F.: Effect and interaction between wheat bran and zinc oxide on productive performance and intestinal health in post-weaning piglets. *Br. J. Nutr.*, 2011. 105. 1592–1600.
- MONTAGNE, L. – LE FLOC'H, N. – ARTURO-SCHAAN, M. – FORET, R. – URDACI, M. C. – LE GALL, M.: Comparative effects of level of dietary fiber and sanitary conditions on the growth and health of weanling pigs. *J. Anim. Sci.*, 2012. 90. 2556–2569.
- MORAN, K. – DE LANGE, C. F. – FERKET, P. – FELLNER, V. – WILCOCK, P. – VAN HEUGTEN, E.: Enzyme supplementation to improve the nutritional value of fibrous feed ingredients in swine diets fed in dry or liquid form. *J. Anim. Sci.*, 2016. 94. 1031–1040.
- MOREL, P. C. H. – LEE, T. S. – MOUGHAN, P. J.: Effect of feeding level, live weight and genotype on the apparent faecal digestibility of energy and organic matter in the growing pig. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 2006. 126. 63–74.
- MOSENTHIN, R. – SAUER, W. C. – AHRENS, F.: Dietary pectin's effect on ileal and fecal amino acid digestibility and exocrine pancreatic secretions in growing pigs. *J. Nutr.*, 1994. 124. 1222–9.
- MOSENTHIN, R. – HAMBRECHT, E. – SAUER, W. C.: Utilization of different fibres in piglet feeds. In *Recent Development in Pig Nutrition 3*, ed. P. C. Grasworthy and J. Wiseman, *Nottingham University Press.*, 2001. 300–320.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL: NRC – Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised Edition. Washington DC: The National Academic Press. 2012.
- NAVARRO, D. M. – BRUININX, D. L. – DE JONG, L. – STEIN, H. H.: The contribution of digestible and metabolizable energy from high-fiber dietary ingredients is not affected by inclusion rate in mixed diets fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2018. 96. 1860–1868.
- NEMECHEK, J. E. – TOKACH, M. D. – DEROUCHÉY, J. M. – DRITZ, S. S. – GOODBAND, R. D. – NELSEN, J. L.: Effects of diet form and fiber level before marketing on growth performance, carcass yield, and iodine value of finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2013. 93. 4486–4499.
- NOBLET, J.: Recent advances in energy evaluation of feeds for pigs. In: *Recent advances in animal nutrition*. P. C. Garnsworthy and J. Wiseman, eds. *Nottingham University Press*, 2005.
- NOBLET, J.: Recent developments in net energy research for swine. *Adv. Pork. Prod.*, 2007. 18. 149–156.

- NOBLET, J. – SHI, X. S.: Comparative digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adults sows fed at maintenance. *Livest. Prod. Sci.*, 1993a. 34. 137–152.
- NOBLET, J. – SHI, X. S.: Contribution of the hindgut to digestion of diets in growing pigs and adult sows: effect of diet composition. *Livest. Prod. Sci.*, 1993b. 34. 237–252.
- NOBLET, J. – SHI, X. S.: Effect of body weight on digestive utilization of energy and nutrients of ingredients and diets in pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 1994a. 37. 323–338.
- NOBLET, J. – LE GOFF, G.: Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *J. Anim. Sci.*, 2001. 82. 229–238.
- NOBLET, J. – VAN MILGEN, J.: Energy value of pig feeds: effect of pig body weight and energy evaluation system. *J. Anim. Sci.*, 2004. 82. 229–238.
- NOBLET, J. – FORTUNE, H. – SHI, X. S. – DUBOIS, S.: Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 1994a. 72. 344–354.
- NOBLET, J. – SHI, X. S. – DUBOIS, S.: Effect of body weight on net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 1994b. 72. 648–657.
- NOBLET, J. – GILBERT, H. – JAGUELIN-PEYRAUD, Y. – LEBRUN, T.: Evidence of genetic variability for digestive efficiency in the growing pig fed a fibrous diet. *Animal*, 2013. 7. 259–1264.
- NORTEY, T.N. – PATIENCE, J.F. – SANDS, J.S. – TROTTIER, N.L. – ZIJLSTRA, R.T.: Effects of xylanase supplementation on the apparent digestibility and digestible content of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in wheat and wheat by-products from dry milling fed to grower pigs. *J. Anim. Sci.*, 2008. 86. 3450–3464.
- NYACHOTI, C. M – DE LANGE, C. F. M. – MCBRIDE, B. W.: Significance of endogenous gut protein losses in the nutrition of growing pigs: A review. *Can. J. Anim. Sci.*, 1997. 77. 149–63.
- OBIOHA, C. – ERICKSON, J. – SUSEELA, S. – HAJRI, T. – CHUNG, E. – RICHARDS, W. – BRADSHAW, L. A.: Effect of body mass index on the sensitivity of magnetogastrogram and electrogastrogram. *J. Gastroenterol. Hepatol. Res.*, 2013. 2. 513–519.
- OWEN, J. B. – RIDGEMAN, W. J.: The effect of dietary energy content on the voluntary intake in pigs. *Anim. Prod.*, 1967. 9. 107–113.
- OWEN, J. B. – RIDGEMAN, W. J.: Further studies on the effect of dietary energy content on the voluntary intake of pigs. *Anim. Prod.*, 1968. 10. 85–91.
- OWUSU-ASIEDU, A. – PATIENCE, J. F. – LAARVELD, B. – VAN KESSEL, A. G. – SIMMINS, P. H. – ZIJLSTRA, R. T.: Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *J. Anim. Sci.*, 2006. 84. 843–852.
- PARKMAN, H. P. – HASLER, W. L. – BARNETT, J. L. – EAKER, E. Y.: American Motility Society Clinical GI Motility Testing Task Force: Electrogastrography: a document prepared by the gastric section of the American Motility Society Clinical GI Motility Testing Task Force. *Neurogastroenterol. Motil.*, 2003. 15. 89–102.

- PAYNE, R. L. – ZILJSTAR, R. T.: A guide to application of net energy in swine feed formulation. *Adv. Pork. Prod.*, 2007. 18. 159-165.
- PEKAS, J. C.: Digestion and absorption capacity and their development. In *Swine nutrition*, Ed. E. R. Miller, D. E. Ullrey and A. J. Lewis. Butterworth-Heinemann, Boston, 1991. 37–73.
- PIRMAN, T. – RIBEYRE, M. C. – MOSONI, L. – RÉMOND, D. – VRECL, M. – SALOBIR, J. – MIRAND, P. P. (2007): Dietary pectin stimulates protein metabolism in the digestive tract. *Nutrition*. 23. 69-75.
- POTKINS, Z. V. – LAWRENCE, T. L. J. – THOMLISON, J. R.: Effects of structural and non-structural polysaccharides in the diet of the growing pig on gastric emptying rate and rate of passage of digesta to the terminal ileum and through the total gastrointestinal tract. *Br. J. Nutr.*, 1991. 65. 391–413.
- PRATS-BOLUDA, G. – GARCIA-CASADO, J. – MARTINEZ-DE-JUAN, J. L. – YE-LIN, Y.: Active concentric electrode for non-invasive detection of intestinal myoelectric signals. *Med. Engin. Phys.*, 2011. 33. 446–455.
- QIN, S. – DING, W. – MIAO, L. – XI, N. - LI, H. – YANG, C.: Signal reconstruction of the slow wave and spike potential from electrogastrogram. *Biomed. Mater. Eng.*, 2015. 26. 1515–1521.
- RAINBIRD, A.L.: Low, A.G. Effect of various types of dietary fiber on gastric emptying in growing pigs. *Br. J. Nutr.* 1986. 111–121.
- RÉMÉSY, C. – DEMIGNÉ, C. – MORAND, C.: Metabolism of short-chain fatty acids in the liver. In: Cummings J. H. – Rombeau J. L. – Sakata T.: *Physiological and clinical aspects of shortchain fatty acids*. Cambridge, UK: *Cambridge University Press.*, 1995. 171–190.
- RENTERIA FLORES, J. A.: Effects of soluble and insoluble dietary fiber on diet digestibility and sow performance. PhD Dissertation, University of Minnesota, St. Paul, MN. 2003.
- RIVEST, J. – Bernier, J.F. –Pomar, C. A.: dynamic model of protein digestion in the small intestine of pigs. *J. Anim. Sci.* 2000. 328–340.
- ROBERFROID, M.: Dietary fibre, inulin and oligofructose: a review comparing their physiological effects. *Food Sci. Tech.*, 1993. 33. 103–148.
- ROOKE, J. A. – SLESSOR, M. – FRASER, H. – THOMSON, J. R.: Growth performance and gut function of piglets weaned at four weeks of age and fed protease-treated soya-bean meal. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 1998. 70. 175–190.
- ROUGIÈRE, N. – GOMEZ, J. – MIGNON-GRASTEAU, S. – CARRÉ, B.: Effects of diet particle size on digestive parameters in D⁺ and D⁻ genetic chicken lines selected for divergent digestion efficiency. *Poul. Sci.*, 2009. 88. 1206–1215.
- SALYER, J. A. – DEROCHEY, J. M. – TOKACH, M. D. – DRITZ, S. S. – GOODBAND, R. D. – NELSEN, J. L. – PETRY, D. B.: Effects of dietary wheat middlings, distillers dried grains with solubles, and choice white grease on growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2012. 90. 2620–2630.
- SCHULZE, H. – VAN LEEUWEN, P. – VERSTEGEN, M. W. A.: Effect of level of dietary neutral detergent fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. *J.*

Anim. Sci., 1994. 72. 2362–8.

SEGES: Danish Nutrient Standards. 28th edition, SEGES Danish Pig Research Centre. 2016. <http://eng.vsp.lf.dk/~media/Files/PDF%20%20UK/Normer/Nutrient%20req%20Denmark.pdf>

SEGES: Danish Nutrient Standards. 30th edition, SEGES Danish Pig Research Centre. 2020. <https://pigresearchcentre.dk/Research-results>

SHELBY, M. C. – BLAVI, L. – WISEMAN, J. – STEIN, H. H.: Effects of distillers dried grains with solubles on amino acid digestibility, growth performance, and carcass characteristics of growing pigs. *Transl. Anim. Sci.*, 2019. 3. 641–653.

SHI, X. S. – NOBLET, J.: Contribution of the hindgut to digestion of diets in growing pigs and adult sows: effect of diet composition. *Livest. Prod. Sci.*, 1993. 34. 237–252.

SHI, X. S. – NOBLET, J.: Effect of body weight and feed composition on the contribution of hindgut to digestion of energy and nutrients in pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 1994. 38. 225–235.

SHRIVER, J. A. – CARTER, S. D. – SUTTON, A. L. – RICHERT, B. T. – SENNE, B. W. – PETTEY, L. A.: Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2003. 81. 492–502.

SIMON, O.: Microbial enzymes as feed additives in poultry nutrition. In *Use of Growth Promoters in Animal Nutrition. Proceedings of the 8th International Symposium on Animal Nutrition*, ed. L. Babinszky, Kaposvár: *University Press.*, 1991. 61–81.

SIMON, O.: The influence of feed composition on protein metabolism in the gut. In *Gut Environment of Pigs*, ed. A. Piva, K. E. Bach Knudsen, and J. E. Linberg, *Nottingham University Press.*, 2001. 32–62.

SOUFRANT, W. B.: Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in pig. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 2001. 90. 93–102.

SOUTHGATE, D. A. T.: Dietary fiber and health. In: D.A.T. Southgate (Ed.) *Dietary Fiber: Chemical and Biochemical Aspects*. Cambridge, U. K. Royal Soc. Chem., 1990. 10.

SOUTHGATE, D. A. T.: Food components associated with dietary fibre. *Handbook of Dietary Fibre in Human Nutrition*, 3rd Ed. G. A Spiller, ed. Boca Raton, *FL: CRC Press.*, 2001.

STANOGLIAS, G. – PEARCE, G. R.: The digestion of fibre by pigs. 1. The effects of amount and type of fibre on apparent digestibility, nitrogen balance and rate of passage. *Br. J. Nutr.*, 1985a. 53. 513. (Abstr.)

STANOGLIAS, G. – PEARCE, G. R.: The digestion of fibre by pigs. 2. The effects of the amount and type of fibre on physical characteristics of segments of the gastrointestinal tract. *Br. J. Nutr.*, 1985b. 53. 548. (Abstr.)

STEIN, H. H. – SHURSON, G. C.: Board-Invited Review: The use and application of distillers dried grains with solubles (DDGS) in swine diets. *J. Anim. Sci.*, 87. 2009. 1292–1303.

STEWART, L. L. – KIL, D. Y. – JI, F. – HINSON, R. B. – BEAULIEU, A. D. – ALLEE, G. L. – PATIENCE, J. F. – PETTIGREW, J. E. – STEIN, H. H.: Effects of dietary soybean

- hulls and wheat middlings on body composition, nutrient and energy retention, and the net energy of diets and ingredients fed to growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 91. 2013. 2756–2765.
- SZABÓ, CS. – HALAS, V.: Shortcomings of the energy evaluation systems in pigs: a review. *Agric. Conspec. Sci.*, 2013. 78. 153–158.
- SZELENYI, I. – HEROLD, H. – GÖTHERT, M.: Emesis induced in domestic pigs: A new experimental tool for detection of antiemetic drugs and for evaluation of emetogenic potential of new anticancer agents. *J. Pharmacol. Toxicol. Methods.*, 1994. 32. 109–116.
- SZŰCS, K. F. – NAGY, A. – GROSZ, GY. – TISZAI, Z. – GASPAR, R.: Correlation between slow-wave myoelectric signals and mechanical contractions in the gastrointestinal tract: Advanced electromyographic method in rats. *J. Pharmacol. Toxicol. Methods.*, 2016. 82. 37–44.
- SZŰCS, K. F. – GROSZ, GY. – SÜLE, M. – NAGY, A. – TISZAI, Z. – SAMAVATI, R. – GÁSPÁR, R.: Identification of myoelectric signals of pregnant rat uterus: new method to detect myometrial contraction. *Croat. Med. J.*, 2017. 58. 141–148.
- TACHECI, I. – KVETINA, J. – KUNES, M.: Electrogastrography in experimental pigs: the influence of gastrointestinal injury induced by dextran sodium sulphate on porcine gastric erythromycin-stimulated myoelectric activity. *Neuro. Endocrinol. Lett.*, 2011. 32. 131–136.
- TACHECI, I. – KVETINA, J. – KUNES, M. – PAVLÍK, M. – KOPÁČOVÁ, M. – ČERNÝ, V. – REJCHRT, S. – VARAYIL, J. E. – BUREŠ, J.: The effect of general anaesthesia on gastric myoelectric activity in experimental pigs. *BMC Gastroenterol.*, 2013. 13. 1–6.
- TAYLOR, I. – DUTHIE, H. L. – SMALLWOOD, R. – LINKENS, D.: Large bowel myoelectrical activity in man. *Gut.*, 1975. 10. 808–814.
- THACKER, P. A.: Nutrient digestibility, performance and carcass traits of growing-finishing pigs fed diets containing dried wheat distillers grains with solubles. *Can. J. Anim. Sci.*, 2006. 86. 527–529.
- THORNTON, P. K.: Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Science.*, 2010. 365. 2853–2867.
- USRY, J.L. – TURNER, L.W. – STAHLY, T.S. – BRIDGES, T.C. – GATES, R.S.: GI-tract simulation model of the growing pig. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 1991. 1879–1890.
- VAN DER KLIS, J. D. – VAN VOORST, A.: The effect of a soluble polysaccharide (carboxy methyl cellulose) on the physico-chemical conditions in the gastrointestinal tract of broilers. *Br. Poult. Sci.*, 1993. 34. 971–983.
- VAN LEEUWEN, P. – VAN GELDER, A. H. – DE LEEUW, J. A.: An animal model to study digesta passage in different compartments of the gastro-intestinal tract (GIT) as an effected by dietary composition. *Curr. Nutr. Food. Sci.*, 2006. 2. 97–105.
- VAN SOEST, P. J. – ROBERTSON, J. B. – LEWIS, B. A.: Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 1991. 74. 3583–3597.

- VAN SOEST, P.J. – ROBERTSON, J.B.: Systems of analysis for evaluating fibrous feeds. In: Workshop Standardization of Analytical Methodology for Feeds, Int. Dev. Res. Center, Ottawa, Canada. 1979. 49–60.
- VARAYIL, J. E. – ALI, S. M. – TACHECÍ, I.: Electrogastrography in experimental pigs. Methodical design and initial experience. *Folia Gastroenterologica et Hepatologica.*, 2009. 7. 98–104.
- VAREL, V.H. – YEN, J. T.: Microbial perspective on fiber utilization by swine. *J. Anim. Sci.*, 1997. 75. 2715–2722.
- VERDENIK, I. – PAJNTAR, M. – LESKOSEK, B.: Uterine electrical activity as a predictor of preterm birth in women with preterm contractions. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol.*, 2001. 95. 149–153.
- VON HEIMENDAL, E. – BREVES, G. – ABEL, H. J.: Fiber-related digestive process in three different breeds of pigs. *J. Anim. Sci.*, 2010. 88. 972–981.
- WANKLING, W. J. – BORWN, B. H. – COLLINS, C. D. – DUTHIE, H. L.: Basal electrical activity in the anal canal in man. *Gut.*, 1968. 9. 457.
- WATE, A. – ZINDOVE, T. J. – CHIMONYO, M.: Effects of feeding incremental levels of maize cob meal on physicochemical properties of bulkiness in digesta in growing pigs. *Livest. Sci.*, 2014. 170. 124–130.
- WATERFALL, – W. E. – BROWN, B. H. – DUTHIE, H. L. – WHITTAKER, G. E.: The effects of humoral agents on the myoelectrical activity of the terminal ileum. *Gut.*, 1972. 13. 528–534.
- WEBER, T. E. – TRAUE, S. L. – ZIEMER, C. J. – KERR, B. J.: Evaluation of elevated dietary corn fiber from corn germ meal in growing female pigs. *J. Anim. Sci.*, 2010. 88. 192–201.
- WELLOCK, I. J. – HOUDIJK, J. G. M. – KYRIAZAKIS, I.: Effect of dietary non-starch polysaccharide solubility and inclusion level on gut health and the risk of post weaning enteric disorders in newly weaned piglets. *Livest. Sci.*, 2007. 108. 186–189.
- WENK, C.: The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 2001. 90. 21–33.
- WHITE, H. – RICHERT, B. – RADCLIFFE, S. – SCHINCKEL, A. – LATOUR, M.: Distillers dried grains decreases bacon lean and increases fat iodine values (IV) and the ratio of n-6:n-3 but conjugated linoleic acids partially recovers fat quality. *J. Anim. Sci.*, 2007. 85. 78. (Abstr.)
- WHITNEY, M. H. – SHURSON, G. C. – JOHNSTON, L. J. – WULF, D. M. – SHANKS, B. C.: Growth performance and carcass characteristics of grower-finisher pigs fed high-quality corn distillers dried grain with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *J. Anim. Sci.*, 2006. 84. 3356–3363.
- WIDMER, M. R. – MCGINNIS, L. M. – WULF, D. M. – STEIN, H. H.: Effects of feeding distillers dried grains with solubles, high-pro- tein distillers dried grains, and corn germ to growing-finishing pigs on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. *J. Anim. Sci.*, 2008. 86. 1819–1831.
- WIDYARATNE, G.P. – ZIJLSTRA. R.T.: Nutritional value of wheat and corn distiller's dried grain with solubles: Digestibility and digestible contents of energy, amino acids

- and phosphorus, nutrient excretion and growth performance of grower-finisher pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 2008. 88. 515–516.
- WILFART, A. – MONTAGNE, L. – SIMMINS, H. – NOBLET, J. – VAN MILGEN, J.: Effect of fibre content in the diet on the mean retention time in different segments of the digestive tract in growing pigs. *Livest. Sci.*, 2007. 109. 27–29.
- WU, F. – JOHNSTON, L. J. – URRIOLOA, P. E. – HILBRANDS, A. M. – SHURSON, G. C.: Evaluation of NE predictions and the impact of feeding maize distillers dried grains with solubles (DDGS) with variable NE content on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 2016. 215. 105–116.
- WU, Z. – LI, D. – MA, Y. – YU, Y. – NOBLET, J.: Evaluation of energy systems in determining the energy cost of gain of growing-finishing pigs fed diets containing different levels of dietary fat. *Arch. Anim. Nutr.*, 2007. 61. 1–9.
- XU, G. – HE, G. – BAIDOO, S. K. – SHURSON, G. C.: Effect of feeding diets containing corn distillers dried grains with solubles (DDGS), with or without phytase, on nutrient digestibility and excretion in nursery pigs. *J. Anim. Sci.*, 2006a. 84. 91. (Abstr.)
- XU, G. – SHURSON, G. C. – HUBBY, E. – MILLER, B. – DE RODAS, B.: Effects of feeding corn-soybean meal diets containing 10% distillers dried grains with solubles (DDGS) on pork fat quality of growing-finishing pigs under commercial production conditions. *J. Anim. Sci.*, 2007b. 85. 113. (Abstr.)
- ZERVAS, S. – ZIJLSTRA, R. T.: Effects of dietary protein and fermentable fiber on nitrogen excretion patterns and plasma urea in grower pigs. *J. Anim. Sci.*, 2002. 80. 3247–3256.
- ZHANG, F. – ADEOLA, O.: Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Anim. Nutr.* 2017. 344–352.
- ZHAO, J. B. – LIU, P. – HUANG, C. F. – LIU, L. – LI, E. K. – ZHANG, G. – ZHANG, S.: Effect of wheat bran on apparent total tract digestibility, growth performance, fecal microbiota and their metabolites in growing pigs. *Anim. Fed. Sci. Tech.*, 2018. 239. 14–26.
- ZIEMER, C. J. – KERR, B. J. – WEBER, T. E. – ARCIDIACONO, S. – MORRISON, M. – RAGAUSKA, A.: Effects of feeding fiber-fermenting bacteria to pigs on nutrient digestion, fecal output, and plasma energy metabolites. *J. Anim. Sci.*, 2012. 90. 4020–4027.
- ZIJLSTRA, R. T. – BELTRANENA, E.: Swine convert co-products from food and biofuel industries into animal protein for food. *Animal Frontiers.*, 2013. 3. 2. 48–53.
- ZIJLSTRA, R. T. – BELTRANENA, E.: High fiber swine diets. London Swine Conference: Positing For Success, London, 2014.

12. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Idegen nyelvű tudományos közlemények

NAGY, K. – FÉBEL, H. – HALAS, V. – TÓTH, T.: The effect of inclusion of fibre-rich by-products on the performance of growing and finishing pigs (pilot study). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal science*, 2021. Volume 70, Issue 1. 23-30. <https://doi.org/10.1080/09064702.2020.1829697>.

Magyar nyelvű tudományos közlemények

NAGY, K. – FÉBEL, H. – TÓTH, T.: A rostellátás jelentősége a növendék sertések takarmányozásában: Irodalmi összefoglaló. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 2016. 65. 1-22.

NAGY, K. – FÉBEL, H. – HALAS, V. – TÓTH, T.: A hazai növendéksertés takarmánykeverékek jellemző nyersrosttartalma és rostösszetétele. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 2019. 68. 62-76.

Konferencia előadások, proceedingben megjelent közlemények

NAGY, K.: A rostellátás korszerű megközelítése és új lehetőségei a sertés takarmányozásban. *Magyar Fajtatizsza Sertést Tenyésztők Egyesülete szakmai rendezvény*, Kaposvár - Gyömaendrőd, 2018.

NAGY, K. – FÉBEL, H. – SUDÁR, G. – TOSSENBERGER, J. – VIDA, O. – TÓTH, T.: A hazai növendéksertés-takarmánykeverékek nyersrosttartalmának és rostfrakcióinak vizsgálata. *XXIII. Ifjúsági Tudományos Fórum*, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely. 2017. 1-6.

NAGY, K. – FÉBEL, H. – SUDÁR, G. – TOSSENBERGER, J. – GROSZ, GY. – TÓTH, T.: Miográfias vizsgálatok alkalmazhatóságának lehetőségei növendék sertésekkel végzett kísérletben nagy rosttartalmú takarmány etetésekor (előzetes eredmények). *XXII. Ifjúsági Tudományos Fórum*, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely. 2016. 1-7.

NAGY, K. – FÉBEL, H. – SUDÁR, G. – TOSSENBERGER, J. – GROSZ, GY. – TÓTH, T.: Emelt rosttartalmú takarmány etetésének hatása a gasztroenterális rendszer simaizom szövetében jelentkező akciós potenciálváltozásokra növendék sertésnél. *XXXVI. Óvári Tudományos Nap: Hagyomány és innováció az agrár- és élelmiszergazdaságban I-II*. Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság-és Élelmiszertudományi Kar, Mosonmagyaróvár. 2016. 419-425.

NAGY, K.: A rostellátás korszerű megközelítése és új lehetőségei a sertés takarmányozásban. *AgriFirm Magyarország Zrt. és Nuscience Hungary Kft. Sertéshús termelés gazdaságosan szakmai rendezvény*, Budaörs, 2015.

NAGY, K. – FÉBEL, H. – TÓTH, T.: A rost szerepe a növendék sertések takarmányozásában: Irodalmi összefoglaló. *XXI. Ifjúsági Tudományos Fórum*, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely. 2015. 1-6.

Magyar nyelvű ismeretterjesztő közlemények

NAGY, K. – HALAS, V. – FÉBEL, H. – TÓTH, T.: Melléktermékek alkalmazásának irányelvei a nagy teljesítményű növendék - és hízósertés takarmányozásában. *Agro Napló*, 2020. 26. 64-66.

NAGY, K. – FÉBEL, H. – TOSSENBERGER, J. – SUDÁR, G. – HALAS, V. - TÓTH, T.: A rostfrakcióra alapozott takarmányozás a növendék sertéseknél. *Agro Napló*, 2017. 21. 81-83.

NAGY, K. – SUDÁR, G. – FÉBEL, H. – TOSSENBERGER, J. – TÓTH, T.: A nyersrostellátás újszerű megközelítése a növendék-hízósertések takarmányozásában. *Agro Napló*, 2016. 20. 130-131.

SUDÁR, G. - NAGY, K. – FÉBEL, H. – TOSSENBERGER, J. – TÓTH, T.: A melléktermékek jelentősége a növendék-, hízósertések takarmányozásában. *Agro Napló*, 2016. 6. 110-111.

13. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉN KÍVÜL MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

- VIDA, O. – EGRI, B. – NAGY, K. – TÓTH, T.: Különböző glicerinforrások etetésének vizsgálata szoptató kocák takarmányozása során (Bevezető eredmények). *XXIII. Ifjúsági Tudományos Fórum*, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely. 2017. 1-6.
- NAGY, K.: Az antibiotikum felhasználás csökkentésének lehetséges alternatívái a sertés takarmányozásban. *Agrifirm Magyarország Zrt. és Nuscience Hungary Kft. Sertés Szakmai Nap*, Budaörs, 2016.
- NAGY, K.: Egy vaskészítmény alkalmazásának hatása a malacok néhány termelési mutatójára és élettani paramétereire. *XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Agrártudományi Szekció*. Szegedi Tudomány Egyetem, Hódmezővásárhely. 2015. 303.
- NAGY, K. – ZSÉDELY, E. – CSAVAJDA, É. – RÓZSA, L. – FÉBEL, H. – TÓTH, T.: Effect of dietary iron supplementation on growth performance and haematological status in young pigs. *KRIMVA 2015: XXII Medunarodna Savjetovanje – 22nd International Conference*. Opatija, Horváthország. 2015. Book of abstract, 45.
- NAGY, K. – ZSÉDELY, E. – RÓZSA, L. – FÉBEL, H. – TÓTH, T.: Egy vaskészítmény alkalmazásának hatása a malacok néhány termelési mutatójára és élettani paramétereire. *XXXV. Óvári Tudományos Nap: A Magyar és nemzetközi agrár-és élelmiszer-gazdaság lehetőségei*. Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság-és Élelmiszertudományi Kar, Mosonmagyaróvár. 2014. 492-497.

14. SZAKMAI ÖNÉLETRAJZ

1989. szeptember 4.-én születtem Győrben.

Általános és középiskolai tanulmányaimat a győri Kazinczy Ferenc Gimnáziumban végeztem.

2008-2011. között a Nyugat-magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszertudományi Karán mezőgazdasági mérnök, állattenyésztési szakirányon (BSc) diplomát szereztem.

2008-ban 3 hónapos szakmai gyakorlatomat töltöttem az Institute for Pig Genetics B.v. (Topigs, Hollandia) sertés kísérleti telepén és központi fejlesztési irodájában.

2009-2012 között a Nyugat-magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszertudományi Karán élelmiszermérnök, állati eredetű élelmiszer feldolgozás szakirányon (BSc) diplomát szereztem.

2012-2014 között a Nyugat-magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság és Élelmiszertudományi Karán agrármérnök (MSc) diplomát szereztem.

2010-től agrármérnökként tevékenykedem családi vállalkozásunkban, mely sertésstenyésztéssel és -tartással, illetve szántóföldi növénytermesztéssel foglalkozik.

2014-ben kezdtem meg PhD tanulmányaimat a Nyugat-magyarországi Egyetem, Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer- tudományi Multidiszciplináris Doktori Iskolában, majd 2015-től PhD tanulmányaimat a Kaposvári Egyetem, Agrár és Környezettudományi Kar, Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskolában folytattam.

2018-tól tudományos munkatárs pozícióban állattudományi, azon belül sertés szakterületen végzek tanácsadói tevékenységet a Serket B.v. (Hollandia) cég számára.

2008-ban német felsőfok, komplex C típusú, 2010-ben angol mg. szakmai középfok, complex nyelvvizsgát szereztem.

**A doktori disszertáció elkészülését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00005 projekt
támogatta.**