

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

BANA BERNADETT

**MOSONMAGYARÓVÁR
2026**

**SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
ALBERT KÁZMÉR MOSONMAGYARÓVÁRI KAR
ÁLLATTUDOMÁNYI TANSZÉK**

**WITTMANN ANTAL NÖVÉNY-, ÁLLAT- ÉS ÉLELMISZER-
TUDOMÁNYI MULTIDISZCIPLINÁRIS
DOKTORI ISKOLA**

UJHELYI IMRE ÁLLATTUDOMÁNYI DOKTORI PROGRAM

**DOKTORI ISKOLAVEZETŐ:
DR. VARGA LÁSZLÓ, DSc
EGYETEMI TANÁR**

**PROGRAMVEZETŐ:
DR. SZABÓ FERENC
EGYETEMI TANÁR**

**TÉMAVEZETŐ:
DR. ZSÉDELY ESZTER, PhD
EGYETEMI DOCENS**

**Új típusú fermentált takarmányok
felhasználhatóságának vizsgálata
kérődző állatoknál**

**KÉSZÍTETTE:
BANA BERNADETT**

**MOSONMAGYARÓVÁR
2026**

**Új típusú fermentált takarmányok felhasználhatóságának vizsgálata
kérődző állatoknál**

**Írta:
Bana Bernadett**

**Készült a Széchenyi István Egyetem Wittmann Antal Növény-, Állat- és
Élelmiszer-tudományi Multidiszciplináris Doktori Iskola
Ujhelyi Imre Állattudományi Doktori Programja keretében**

Témavezető: Dr. Zsédely Eszter, PhD

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori komplex vizsgán megfelelt.

Mosonmagyaróvár, ...

**.....
a Komplex Vizsga Bizottság elnöke**

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen/nem)

Első bíráló (Dr.) igen/nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen/nem

(aláírás)

Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen/nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján%-ot ért el.

Mosonmagyaróvár, ...

A Bírálóbizottság elnöke

Doktori (PhD) oklevél minősítése.....

Az EDT elnöke

TARTALOMJEGYZÉK

KIVONAT	3
ABSTRACT	6
1. BEVEZETÉS	8
2. CÉLKITŰZÉS	11
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	12
3.1. A FERMENTÁCIÓ ALAPJAI	12
3.1.1. <i>A fermentáció történeti fejlődése, fogalma és jelentősége</i>	12
3.1.2. <i>A fermentáció osztályozása</i>	14
3.1.2.1. Mikrobiológiai osztályozás	14
3.1.2.2. Biokémiai osztályozás	16
3.1.2.3. Technológiai osztályozás	19
3.1.3. <i>A bendő mikrobiális ökoszisztémája és fermentációs folyamatai</i>	22
3.2. FERMENTÁLT TAKARMÁNYOK ALKALMAZÁSÁNAK KEDVEZŐ HATÁSAI	25
3.2.1. <i>A fermentáció során képződő bioaktív vegyületek és jelentőségük</i>	25
3.2.2. <i>A fermentáció hatása a takarmány táplálóértékére</i>	28
3.2.3. <i>A fermentáció hatása a toxinokra és az antinutritív anyagokra</i>	30
3.3. AZ ÚJ TÍPUSÚ FERMENTÁLT TAKARMÁNYOK KÉRŐDZŐKBEN	32
3.3.1. <i>Fermentált TMR</i>	32
3.3.2. <i>Fermentált koncentrált takarmányok</i>	34
3.4. AZ ÚJ TÍPUSÚ FERMENTÁLT TAKARMÁNYOK ALKALMAZÁSÁNAK HATÁSAI KÉRŐDZŐKBEN	35
3.4.1. <i>A fermentált takarmányok hatása a bendőfermentációra</i>	35
3.4.2. <i>A fermentált takarmányok hatása a tejtermelésre és a tej összetételére</i>	38
3.4.3. <i>Fermentált takarmányok etetésének hatása a növekedési teljesítményre és húsmínőségre</i>	40
3.4.4. <i>A fermentált takarmányok szerepe a metánkibocsátás csökkentésében</i>	41
4. ANYAG ÉS MÓDSZER	47
4.1. BENDŐBELI LEBOMLÁSI (<i>IN SACCO</i>) ÉS BENDŐFERMENTÁCIÓS KÍSÉRLET JUHOKKAL	47
4.1.1. <i>Kísérleti beállítások</i>	47
4.1.2. <i>In sacco kísérlet</i>	51

4.1.4. Kémiai vizsgálatok.....	54
4.1.3. Bendőfermentációs kísérlet.....	55
4.2. BENDŐBELI LEBONTHATÓSÁG (<i>IN SACCO</i>) ÉS BENDŐFERMENTÁCIÓS KÍSÉRLET SZARVASMARHÁKKAL	56
4.2.1. Kísérleti elrendezés.....	56
4.2.2. <i>In sacco</i> kísérlet.....	59
4.2.3. Bendőfermentációs kísérlet.....	60
4.2.4. Kémiai összetétel vizsgálata	61
4.3. TEJELŐ TEHENEKKEL VÉGZETT ÜZEMI VIZSGÁLAT	64
4.3.1. Kísérleti állatok	64
4.3.2. Takarmányozás a vizsgálat alatt	64
4.3.3. Mintavételi és analitikai eljárások.....	68
4.4. ELEKTRONIKUS ORR ALKALMAZÁSA A TAKARMÁNYOK MINŐSÍTÉSÉBEN.....	69
4.5. STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉS	72
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	75
5.1. AZ <i>IN SACCO</i> ÉS BENDŐFERMENTÁCIÓS KÍSÉRLET JUHOKKAL – EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS	75
5.1.1. Az <i>in sacco</i> vizsgálatok eredményei és értékelése	75
5.1.2. A bendőfermentációs vizsgálatok eredményei és értékelése.....	82
5.2. AZ <i>IN SACCO</i> ÉS BENDŐFERMENTÁCIÓS KÍSÉRLET EREDMÉNYEI ÉS ÉRTÉKELÉSE SZARVASMARHÁKON	88
5.2.1. Az <i>in sacco</i> kísérlet eredményei és értékelése.....	88
5.2.2. A bendőfermentációs kísérlet eredményei és értékelése	104
5.3. TEJELŐ TEHENEKKEL VÉGZETT ÜZEMI VIZSGÁLAT EREDMÉNYEI...	114
5.4. AZ ELEKTRONIKUS ORRAL VÉGZETT VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI ÉS ÉRTÉKELÉSE A TAKARMÁNYOK MINŐSÍTÉSÉBEN.....	117
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	122
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	127
8. ÖSSZEFOGLALÁS	129
9. ÁBRÁK JEGYZÉKE.....	132
10. TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	133
11. IRODALOMJEGYZÉK.....	135
12. PUBLIKÁCIÓS LISTA	155
13. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	158

KIVONAT

Az állattenyésztésben egyre nagyobb jelentőséget kapnak azok a takarmányozási technológiák, amelyek javítják a táplálóanyagok hasznosulását, növelik a termelési hatékonyságot, valamint elősegítik a melléktermékek jobb hasznosítását. A tejsavbaktériumokkal végzett fermentáció olyan innovatív eljárás, amely a takarmányok kémiai és mikrobiológiai tulajdonságainak kedvező módosításával hozzájárulhat a kérődzők táplálóanyag-ellátásának javításához. A fermentáció takarmányozási jelentőségének pontos megítéléséhez azonban szükség van a fermentált takarmányok komplex vizsgálatára, amely magában foglalja a bendőbeli lebomlásra, a bendőfermentációra és a termelési eredményekre gyakorolt hatás értékelését is.

A kutatásom célja tejsavbaktériumokkal fermentált takarmánykeverékek előállítása, valamint azok bendőbeli lebonthatóságának, továbbá a bendőfermentációra és a termelési eredményekre gyakorolt hatásának, és aromaprofiljának komplex értékelése volt. A vizsgálatok juhokon és szarvasmarhákon végzett *in sacco* bendőbeli lebonthatósági és bendőfermentációs vizsgálatokat, ezeken túl tejelő tehenekkel végzett üzemi takarmányozási kísérletet, valamint elektronikus orr alkalmazásával meghatározott aromaprofil-elemzéseket foglaltak magukban.

Az eredmények alapján a juhokon végzett *in sacco* vizsgálatok azt mutatták, hogy a fermentáció elsősorban a bendőbeli lebomlás dinamikáját befolyásolta, míg a bendőfermentációs vizsgálatok

igazolták, hogy a fermentált takarmány etetése nem gyakorolt kedvezőtlen hatást a bendő működésének stabilitására.

A szarvasmarhákon végzett *in sacco* vizsgálatok igazolták, hogy a fermentáció javította a takarmányok tényleges bendőbeli lebonthatóságát. A 8%/óra bendőbeli kiáramlási sebesség mellett a fermentált takarmány szárazanyag-, nyersfehérje-, nyersrost- és NDF-lebonthatósága (sorrendben) 2,78; 7,02; 5,80 és 10,44 százalékponttal haladta meg a kontroll értékeit.

Szarvasmarhákban az 1 kg fermentált takarmány etetése kedvezőbb bendőfermentációs választ eredményezett, míg a nagyobb adag nem biztosított további előnyt.

Az üzemi kísérletben a takarmány szárazanyagának 3,32%-át kitevő fermentált abrak-keverék etetése 1,1 kg/tehén/nap tejhozam- és 0,8 kg/tehén/nap energiatartalomra korrigált tejhozam-növekedést eredményezett, miközben a tej összetételének főbb paraméterei nem változtak kedvezőtlenül.

Az elektronikus orr vizsgálatai igazolták, hogy a fermentáció során alkalmazott szubsztrát, fermentációs közeg és starterkultúra egyaránt meghatározó szerepet játszik a fermentált takarmányok aromaprofiljának kialakításában. A főkomponens- és diszkriminanciaanalízis eredményei bizonyították, hogy az elektronikus orr alkalmas a különböző fermentációs kezelések megbízható elkülönítésére, ezáltal gyors és objektív eszközt jelenthet a fermentációs folyamatok nyomon követésében.

A kutatás eredményei igazolják, hogy a tejsavbaktériumokkal végzett fermentáció kedvezően befolyásolhatja a takarmányok bendőbeli hasznosulását és hozzájárulhat a tejtermelés javításához, miközben

megőrzi a bendőfermentáció stabilitását. Az eredmények új ismeretekkel bővítik a fermentált takarmányok kérődzők takarmányozásában történő alkalmazásának tudományos hátterét, valamint megalapozzák a fermentációs technológia és az elektronikus orr gyakorlati alkalmazásának további fejlesztését.

ABSTRACT

In animal production, increasing attention is being paid to feeding technologies that improve nutrient utilization, enhance production efficiency, and promote the more effective use of by-products suitable for animal feeding. Fermentation with lactic acid bacteria represents an innovative approach that may improve nutrient supply in ruminants by beneficially modifying the chemical and microbiological properties of feeds. However, an accurate assessment of the nutritional significance of fermentation requires a comprehensive evaluation of fermented feeds, including their effects on ruminal degradability, rumen fermentation, and productive performance.

The aim of this research was to produce feed mixtures fermented with lactic acid bacteria and to comprehensively evaluate their ruminal degradability, effects on rumen fermentation and productive performance, as well as their aroma profiles. The experiments included in sacco ruminal degradability and rumen fermentation studies in sheep and cattle, an on-farm feeding trial with dairy cows, and aroma profile analyses using an electronic nose.

The results of the in sacco experiments in sheep showed that fermentation primarily modified the dynamics of ruminal degradation, while the rumen fermentation studies demonstrated that feeding the fermented feed did not adversely affect the stability of rumen function. The in sacco experiments conducted in cattle demonstrated that fermentation improved the effective ruminal degradability of the feeds. At a ruminal passage rate of 8%/h, the effective degradability of dry matter, crude protein, crude fibre, and neutral detergent fibre (NDF) of

the fermented feed exceeded the corresponding control values by 2.78, 7.02, 5.80, and 10.44 percentage points, respectively.

In cattle, feeding 1 kg of fermented feed resulted in a more favourable rumen fermentation response, whereas the higher inclusion level provided no additional benefit.

In the on-farm trial, feeding a fermented concentrate mixture accounting for 3.32% of dietary dry matter increased milk yield by 1.1 kg/cow/day and energy-corrected milk (ECM) yield by 0.8 kg/cow/day, while the major parameters of milk composition were not adversely affected.

Electronic-nose analyses demonstrated that the substrate, fermentation medium, and starter culture used during fermentation all played important roles in determining the aroma profiles of fermented feeds. Principal component analysis (PCA) and discriminant function analysis (DFA) confirmed that the electronic nose was capable of reliably distinguishing among different fermentation treatments, indicating its potential as a rapid and objective tool for monitoring fermentation processes.

The findings demonstrate that fermentation with lactic acid bacteria can beneficially influence the ruminal utilization of feeds and contribute to improved milk production while maintaining stable rumen fermentation. These results provide new insights into the scientific basis for the use of fermented feeds in ruminant nutrition and support the further development and practical application of fermentation technologies and electronic-nose-based analytical methods.

1. BEVEZETÉS

A világ népessége az előrejelzések szerint 2050-re megközelíti a 10 milliárd főt, amely a globális élelmiszerigény 35–56%-os növekedését eredményezheti a 2010-es szinthez viszonyítva (Van Dijk és mtsai., 2021). A növekvő élelmiszerigény nemcsak a növénytermesztési ágazatot, hanem az állattenyésztést, ezen belül a tej- és hústermelést is jelentősen érinti. Az állati eredetű élelmiszerek iránti kereslet várható fokozódása egyre hatékonyabb, gazdaságosabb és fenntarthatóbb termelési rendszerek kialakítását teszi szükségessé. A tejhasznú szarvasmarhatartás egyik legfontosabb kihívása olyan takarmányozási stratégiák alkalmazása, amelyek egyidejűleg növelik a tejtermelés hatékonyságát, javítják a takarmányhasznosítást, mérséklik a környezeti terhelést, valamint csökkentik a termelés fajlagos költségeit. Az állattenyésztés termelésének növekedésével párhuzamosan folyamatosan emelkedik a kiváló minőségű takarmányfehérjék iránti igény.

A fehérje a tejelő szarvasmarhák takarmányozásának legköltségesebb, ugyanakkor nélkülözhetetlen táplálóanyag-komponense, mivel aminosavakat és nitrogént biztosít a bennük mikroorganizmusok számára, így elősegíti a mikrobiális fehérjeszintézist, valamint hozzájárul a gazdaállat fehérje- és energiaellátásához (Schwab és mtsai., 2017). A hagyományosan alkalmazott fehérjeforrások árának emelkedése és importfüggősége ugyanakkor szükségessé teszi alternatív fehérjeforrások és innovatív takarmányozási technológiák alkalmazását (Moorby és mtsai., 2021).

A fenntartható takarmányozás egyik legígéretesebb irányát a mezőgazdasági és élelmiszeripari melléktermékek takarmányozási célú hasznosítása jelenti. A FAO szerint az állattenyésztésben felhasznált takarmány mintegy 86%-a emberi fogyasztásra nem alkalmas alapanyagokból áll (Mottet és mtsai., 2017; FAO, 2025). Az ilyen alapanyagok takarmányozási célú hasznosítása csökkenti az élelmiszer- és takarmánytermelés közötti versenyt, javítja az erőforrás-hatékonyságot, valamint elősegíti a körforgásos gazdaság megvalósítását.

Napjainkban a mezőgazdasági melléktermékek értéknövelt takarmányokká történő átalakításának egyik legígéretesebb biotechnológiai eljárása a mikrobiális fermentáció (Ibarruri és mtsai., 2021). A fermentáció során a tejsavbaktériumok, élesztők és egyéb hasznos mikroorganizmusok a könnyen fermentálható szénhidrátokat tejsavvá, ecetsavvá és más szerves savakká alakítják (Garrido-Galand és mtsai., 2021), miközben extracelluláris enzimeket termelnek, amelyek részlegesen lebontják a növényi sejtfal szerkezetét, növelik a táplálóanyagok hozzáférhetőségét és csökkentik az antinutritív anyagok mennyiségét (Chen és mtsai., 2025). A tejsavbaktériumok által termelt szerves savak pedig csökkentik a takarmány pH-ját, ezáltal gátolják a romlást okozó és patogén mikroorganizmusok szaporodását, javítják a takarmány mikrobiológiai stabilitását, valamint kedvezően befolyásolják annak eltarthatóságát (Azavedo és mtsai., 2025).

Számos kutatás igazolta, hogy a fermentált takarmányok javítják a táplálóanyagok emészthetőségét és hasznosulását (Kim és mtsai., 2012; Guo és mtsai., 2019; Jiang és mtsai., 2020). A fermentáció kedvezően befolyásolhatja az állatok bélrendszerének és bendőjének mikrobiális

összetételét és működését (Park és mtsai., 2003), ezáltal javítva a takarmányhasznosítást és az állatok termelési teljesítményét (Gunun és mtsai., 2023). Emellett alkalmazása hozzájárulhat a takarmányozási költségek és az állattenyésztés környezeti terhelésének mérsékléséhez (Suriyapha és mtsai., 2022). E kedvező hatásokat az elmúlt évek tudományos közleményei is alátámasztották. A fermentált tömegtakarmányok, különösen a szilázsok, régóta fontos szerepet töltenek be a kérődzők takarmányozásában. Azonban az utóbbi években egyre nagyobb figyelem irányul a fermentációs technológia teljes takarmánykeverékekre (fermented total mixed ration, FTMR) és abrakkeverékekre történő alkalmazására is (Lee és mtsai., 2023). Ugyanakkor a teljes TMR fermentálása üzemi körülmények között nem minden esetben gazdaságos vagy technológiailag kivitelezhető, ezért az abrakkeverékek fermentálása ígéretesebb alternatívát jelenthet.

Mindazonáltal a fermentált abrakkeverékeknek a kérődzők takarmányozásában történő alkalmazásáról továbbra is viszonylag kevés tudományos információ áll rendelkezésre (Kim és mtsai., 2012; Feizi és mtsai., 2020; Wang és mtsai., 2021). Ezért indokolt olyan további vizsgálatok elvégzése, amelyek a hazánkban alkalmazott abrakkomponensekből előállított fermentált takarmánykeverékek táplálóanyag-lebonthatóságra, bendőfermentációra és tejtermelési mutatókra gyakorolt hatását vizsgálják.

Az eredmények hozzájárulhatnak a fermentált abrakkeverékek gyakorlati alkalmazásának tudományos megalapozásához, ezáltal elősegítve a fenntarthatóbb és gazdaságosabb kérődző-takarmányozás kialakítását.

2. CÉLKITŰZÉS

A kutatás célja a tejsavbaktériumokkal fermentált abrakkeverékek kérődzők takarmányozásában történő alkalmazhatóságának komplex értékelése, valamint a modern tehenészeti telepeken történő felhasználási lehetőségeinek vizsgálata volt.

A kutatás során az alábbi célkitűzéseket fogalmaztuk meg:

- Annak meghatározása, hogy a tejsavbaktériumokkal fermentált búza-extrahált szójadara-árpaszalma juhokkal történő etetése milyen hatást gyakorol a takarmány táplálóanyagainak bendőbeli lebonthatóságára, valamint a bendőfermentációra.
- Annak vizsgálata, hogy a búza-búzakorpa-extrahált szójadara-kukorica-csutkaliszt alapú abrakkeverék folyadékfázisú, tejsavas fermentációja miként befolyásolja a táplálóanyagok bendőbeli lebonthatóságát, valamint a bendőfermentációs folyamatokat holstein-fríz tehenekben.
- Annak értékelése, hogy a fermentált abrakkeveréket (kukorica, búza, extrahált repcedara és extrahált napraforgódara) tartalmazó teljes keveréktakarmány (TMR) etetése milyen hatást gyakorol a nagy tejtermelésű holstein-fríz tehenek tejtermelésére és a tejösszetételére.
- Annak vizsgálata, hogy mennyire különíthető el a különböző módon fermentált DDGS-t, illetve CGF-et tartalmazó abrakkeverékek aromaprofilja elektronikus orr alkalmazásával.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A fermentáció alapjai

3.1.1. A fermentáció történeti fejlődése, fogalma és jelentősége

A fermentáció az emberiség egyik legrégebben alkalmazott biológiai folyamata, amelyet már az ókori civilizációk is használtak kenyér, sör, bor és más élelmiszerek előállítására, jóval azelőtt, hogy a folyamat mikrobiológiai háttere ismertté vált volna (Hui, 2004; Buchholz és Collins, 2013). A korai alkalmazások elsősorban tapasztalati megfigyeléseken alapultak, ugyanakkor már ekkor felismerték, hogy a fermentáció nemcsak javítja az élelmiszerek érzékszervi tulajdonságait, hanem növeli eltarthatóságukat és mikrobiológiai biztonságukat is (Senapati, 2016).

A fermentáció tudományos értelmezése Louis Pasteur munkásságával kezdődött, aki igazolta, hogy az alkoholos és tejsavas erjedés mikroorganizmusok anyagcseréjének következménye, nem pedig spontán kémiai folyamat (Pasteur, 1858; Madigan és mtsai., 2021). A biokémiai háttér megismerésében Eduard Buchner eredményei jelentettek újabb mérföldkövet, amikor kimutatta, hogy a fermentáció sejttől mentes enzimkivonatokkal is végbemegy, ezzel bizonyítva az enzimek meghatározó szerepét a folyamatban (Buchner, 1907).

A XX. század során a fermentáció alkalmazási területe jelentősen kibővült. A hagyományos élelmiszeripari felhasználás mellett egyre nagyobb szerepet kapott az antibiotikumok, vitaminok, aminosavak, enzimek, szerves savak és más biotechnológiai termékek ipari előállításában, amely alapvetően hozzájárult a modern ipari

biotechnológia fejlődéséhez (Demain és Adrio, 2008; Stanbury és mtsai., 2016).

Napjainkban a fermentáció olyan szabályozott mikrobiológiai folyamatként definiálható, amely során baktériumok, élesztők vagy fonalas gombák enzimatis reakciók révén alakítják át a szerves vegyületeket különböző metabolitokká (Madigan és mtsai., 2021). A folyamat elsődleges biológiai szerepe a mikroorganizmusok energiatermelése, ugyanakkor a keletkező végtermékek, mint a tejsav, ecetsav, propionsav, vajsav, etanol, szén-dioxid, valamint számos egyéb bioaktív vegyület, meghatározzák a fermentált termékek kémiai összetételét, mikrobiológiai stabilitását és funkcionális tulajdonságait (Hutkins, 2008; Stanbury és mtsai., 2016).

Az utóbbi években a fermentáció jelentősége a takarmányiparban is felértékelődött. A korszerű fermentációs technológiák már nem kizárólag a takarmányok tartósítását szolgálják, hanem lehetőséget biztosítanak azok tápláléértékének, mikrobiológiai biztonságának és funkcionális tulajdonságainak javítására is. A fermentáció során végbemenő mikrobiális és enzimatis átalakulások kedvezően módosíthatják a táplálóanyagok hozzáférhetőségét, csökkenthetik az antinutritív komponensek mennyiségét, valamint olyan bioaktív metabolitok képződését eredményezhetik, amelyek hozzájárulnak az állatok egészségének és termelési teljesítményének javításához. Ennek köszönhetően a fermentáció napjainkban a fenntartható és funkcionális takarmányozás egyik meghatározó biotechnológiai eszközének tekinthető (Muck és mtsai., 2018; Kung és mtsai., 2018; Betchem és mtsai., 2024).

3.1.2. A fermentáció osztályozása

A fermentációs folyamatok több szempont alapján osztályozhatók. A szakirodalomban leggyakrabban mikrobiológiai, biokémiai és technológiai megközelítés alapján történik a csoportosítás (Ray és Joshi, 2014).

3.1.2.1. Mikrobiológiai osztályozás

A fermentáció mikrobiológiai osztályozása a folyamatban részt vevő mikroorganizmusok típusa alapján történik. A fermentációt elsősorban baktériumok, élesztők és fonalas gombák végzik, amelyek eltérő anyagcsere-folyamataik révén különböző fermentációs végtermékeket állítanak elő (Axelsson, 2004). Az alkalmazott mikroorganizmusok jelentősen befolyásolják a fermentáció sebességét, a képződő metabolitok összetételét, a pH alakulását, valamint a fermentált termék mikrobiológiai stabilitását és tápláléértékét (Holzapfel, 2002).

Az élesztők, különösen a *Saccharomyces cerevisiae*, elsősorban alkoholos fermentációt végeznek, amely során a cukrok etanollá és szén-dioxiddá alakulnak (Walker és Stewart, 2016). Az élesztők jelentős szerepet töltenek be a sütőiparban, a sör- és borászatban, valamint különböző fermentált italok előállításában (Pretorius, 2000). Takarmányozási szempontból az élesztők fontosak lehetnek probiotikus hatásuk, bendőstabilizáló szerepük és fehérjeforrásként való alkalmazhatóságuk miatt (Chaucheyras-Durand és Fonty, 2001). A penészgombák (*Aspergillus*-, *Rhizopus*- és *Penicillium*-fajok) elsősorban szilárd közegű fermentációkban vesznek részt (Pandey és mtsai., 2016). Ezeket a mikroorganizmusokat enzimtermelésre, szerves

savak előállítására, valamint fermentált élelmiszerek és takarmányok gyártására alkalmazzák (Soccol és mtsai., 2017). Egyes *Aspergillus*-fajok például celluláz-, amiláz- és proteáz enzimeket termelnek, amelyek javíthatják a rostok lebontását és a takarmányok emészthetőségét (Singhania és mtsai., 2009).

A tejsavbaktériumok (lactic acid bacteria, LAB) a fermentációban leggyakrabban alkalmazott mikroorganizmusok közé tartoznak, amelyek kiemelkedő szerepet töltenek be az élelmiszer- és takarmányiparban (Axelsson, 2004). A tejsavbaktériumok Gram-pozitív, spórát nem képző, kataláz-negatív baktériumok, amelyek többsége fakultatív anaerob vagy aerotoleráns anaerob. Ennek megfelelően oxigén jelenlétében is képesek életben maradni, ugyanakkor energiaigényüket elsősorban fermentáció útján fedezik. Anyagcseréjük alapját a fermentálható szénhidrátok lebontása képezi, amelynek során elsősorban tejsav képződik, miközben a NAD^+ regenerálódik, fenntartva a glikolízis működését (De Vuyst és Leroy, 2007). A faj egyik legfontosabb tulajdonsága a gyors savtermelő képessége. A fermentáció kezdeti szakaszában intenzíven hasznosítja a vízzoldható szénhidrátokat, amelynek eredményeként rövid idő alatt jelentős mennyiségű tejsav képződik (McDonald és mtsai., 2011; Kung és mtsai., 2018). A tejsav felhalmozódása a közeg pH-jának gyors csökkenését eredményezi, ami gátolja a romlást okozó és patogén mikroorganizmusok szaporodását, ezáltal biztosítja a fermentált termék mikrobiológiai stabilitását és eltarthatóságát (Axelsson, 2004; Hutkins, 2008; Madigan és mtsai., 2021).

A takarmányok fermentálása során leggyakrabban alkalmazott fajok közé tartozik a *Lactiplantibacillus plantarum*, a *Lactocaseibacillus*

casei, valamint a *Pediococcus*, *Weissella*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* és egyes *Enterococcus* fajok. Ezek eltérő savtermelő képességük, stressztűrésük és enzimaktivitásuk révén különböző szerepet töltenek be a fermentációs folyamatokban (Akhtar és mtsai., 2025).

A tejsavbaktériumok természetes módon előfordulnak a növények felszínén, a talajban, valamint az állatok és az ember emésztőrendszerében. Ennek köszönhetően a takarmánynövények betakarításakor is jelen vannak az alapanyagokon, azonban természetes csíraszámuk és fajösszetételük jelentős ingadozást mutathat. A sikeres fermentáció érdekében ezért szelektált baktériumtörzseket tartalmazó inokulumokat alkalmaznak, amelyek gyorsabb savtermelést, stabilabb fermentációt és kisebb táplálóanyagvesztést eredményeznek (Wilkinson és mtsai., 2018).

A tejsavbaktériumok szerepe napjainkra túlmutat a takarmányok hagyományos tartósításán. Számos törzs képes bakteriocinok, exopoliszacharidok és különböző extracelluláris enzimek termelésére, amelyek javítják a fermentált takarmány mikrobiológiai stabilitását, elősegítik a sejtfal részleges lebontását és növelik a táplálóanyagok hasznosulását (Betchem és mtsai., 2024).

3.1.2.2. Biokémiai osztályozás

A fermentáció biokémiai osztályozása a képződő végtermékek és az azokat meghatározó metabolikus útvonalak alapján történik (Ray és Joshi, 2014). Az alkoholos fermentáció során a cukrok etanollá és széndioxiddá alakulnak, amely folyamatot elsősorban élesztők végezzék. Bár főként az élelmiszer- és italiparban hasznosítják, fermentált

takarmányokban mellékfolyamatként is előfordulhat (Walker & Stewart, 2016).

Az ecetsavas fermentáció során az etanol aerob oxidációjával ecetsav képződik, amelyet elsősorban az *Acetobacter* és *Gluconobacter* nemzetségbe tartozó baktériumok katalizálnak. A keletkező ecetsav hozzájárulhat a fermentált takarmányok aerob stabilitásának javításához, ugyanakkor túlzott mennyiségben kedvezőtlenül befolyásolhatja azok minőségét (Deppenmeier és Ehrenreich, 2009).

A vajsavas fermentációt főként *Clostridium* fajok végzik anaerob körülmények között, amelynek során vajsav, szén-dioxid és hidrogén képződik. Takarmányozási szempontból ez kedvezőtlen folyamat, mivel fokozza a szárazanyag- és fehérjevesztést, valamint rontja a fermentált takarmány érzékszervi és tápláléértékét (Pahlow és mtsai., 2003).

A tejsavas fermentáció a takarmányok tartósításának és biológiai értéknövelésének legfontosabb biokémiai folyamata. Lényege, hogy a fermentálható szénhidrátok anaerob körülmények között enzimatis reakciók sorozatán keresztül elsősorban tejsavvá alakulnak. A folyamat során a mikroorganizmusok energiát nyernek, miközben a képződő szerves savak gyors pH-csökkenést idéznek elő, amely gátolja a romlást okozó mikroorganizmusok növekedését és biztosítja a fermentált takarmány mikrobiológiai stabilitását (Axelsson, 2004; Hutkins, 2008). A legtöbb tejsavas fermentáció alapját az Embden–Meyerhof–Parnas-féle glikolitikus útvonal (EMP) képezi (Nelson és mtsai., 2008; Berg és mtsai., 2023). Ennek során a glükóz tíz egymást követő enzimatis reakción keresztül két piruvátmolekulává alakul. A glikolízis nettó energianyeresége két ATP és két NADH molekula glükózonként.

Anaerob körülmények között a sejtek számára létfontosságú a NADH visszaoxidálása NAD^+ formává, mivel ennek hiányában a glikolízis leállna. A tejsavas fermentáció során ezt a feladatot a laktát-dehidrogenáz enzim végzi, amely a piruvátot tejsavvá redukálja, miközben a NADH oxidálódik és regenerálódik a NAD^+ . Ez biztosítja a glikolízis folyamatos működését és a mikroorganizmus energiaellátását anaerob környezetben (Nelson és mtsai., 2008).

A fermentáció energiahozama a sejtlégzéshez képest alacsony, azonban elegendő a mikroorganizmusok növekedéséhez és életfolyamatainak fenntartásához. Az alkalmazott metabolikus útvonal alapján a tejsavas fermentáció homofermentatív és heterofermentatív típusra osztható (Axelsson, 2004).

A homofermentatív tejsavas fermentáció során a glükóz az Embden–Meyerhof–Parnas útvonalon szinte teljes egészében tejsavvá alakul. Egy glükózmolekulából két molekula tejsav és két ATP képződik, miközben szén-dioxid gyakorlatilag nem keletkezik (Axelsson, 2004; Hutkins, 2008). A nagy mennyiségű tejsav gyors pH-csökkenést eredményez, amely gátolja a nem kívánatos mikroorganizmusok szaporodását, mérsékli a fehérjebomlást és a szárazanyag-veszteséget, valamint elősegíti a fermentált takarmány stabilitását (Wilkinson és Rinne, 2018). Ennek köszönhetően a homofermentatív tejsavbaktériumok a silózási és folyadékfázisú fermentációs technológiák legfontosabb starterkultúrái közé tartoznak (Muck és mtsai., 2018; Adesogan és mtsai., 2019).

A heterofermentatív tejsavas fermentáció a foszfoketoláz (pentóz-foszfát) útvonalon zajlik, amelynek során egy glükózmolekulából tejsav mellett ecetsav vagy etanol, valamint szén-dioxid képződik,

miközben a nettó energianyereség egy ATP (Gänzle, 2015). Bár energiahatékonysága kisebb, a keletkező ecetsav hatékonyan gátolja az élesztők és penészgombák szaporodását, ezáltal mérsékli a másodlagos erjedés kockázatát és jelentősen javítja a fermentált takarmányok aerob stabilitását (Oude Elferink és mtsai., 2000).

A korszerű fermentációs technológiákban ezért gyakran homo- és heterofermentatív tejsavbaktérium-törzsek kombinációját alkalmazzák. Az ilyen starterkultúrák egyesítik a homofermentatív baktériumok gyors savtermelő képességét a heterofermentatív törzsek aerob stabilitást fokozó hatásával, ezáltal kedvezőbb fermentációs folyamatot és jobb minőségű fermentált takarmányt eredményeznek (Wilkinson és Rinne, 2018; Adesogan és mtsai., 2019).

3.1.2.3. Technológiai osztályozás

A fermentáció technológiai osztályozása a fermentációs közeg fizikai tulajdonságai alapján történik. Ennek megfelelően szilárd fázisú fermentációt (solid-state fermentation, SSF) és folyadékfázisú fermentációt (liquid-state fermentation, LSF vagy submerged fermentation, SmF) különböztetünk meg (Pandey, 2003). A két technológia elsősorban a fermentációs közeg nedvességtartalmában, az alkalmazott mikroorganizmusok igényeiben, valamint az előállítható termékek körében tér el egymástól.

A szilárd fázisú fermentáció során a mikroorganizmusok alacsony nedvességtartalmú szilárd szubsztráton fejlődnek, szabad folyadékfázis jelenléte nélkül vagy annak minimális mennyisége mellett. Ez a környezet különösen kedvez a fonalas gombák és egyes baktériumok szaporodásának, valamint extracelluláris enzimek termelésének

(Mitchell és mtsai., 2006). A leggyakrabban alkalmazott mikroorganizmusok közé az *Aspergillus*, *Rhizopus* és *Bacillus* fajok tartoznak, amelyek celluláz-, hemicelluláz-, amiláz- és proteáz-termelésük révén elősegítik a növényi sejtfalak lebontását és növelik a táplálóanyagok hozzáférhetőségét (Singhania és mtsai., 2009; Soccol és mtsai., 2017).

Az SSF egyik legfontosabb előnye az alacsony víz- és energiaigény, valamint az, hogy kiválóan alkalmas mezőgazdasági és élelmiszeripari melléktermékek biológiai értéknövelésére. Ugyanakkor a fermentáció szabályozása nehezebb, mivel a nedvességtartalom és a hőmérséklet egyenetlen eloszlása befolyásolhatja a fermentáció egyenletességét és a végtermék minőségét (Soccol és mtsai., 2017).

Ezzel szemben a folyadékfázisú fermentáció magas nedvességtartalmú vagy teljesen folyékony közegben zajlik, amely biztosítja a mikroorganizmusok egyenletes eloszlását és a tápanyagok gyors hozzáférhetőségét. A technológia lehetővé teszi a fermentációs paraméterek – különösen a hőmérséklet, a pH és a keverési intenzitás – pontos szabályozását, ezáltal jól reprodukálható és irányítható fermentációs folyamat valósítható meg (Stanbury és mtsai., 2017).

A folyadékfázisú fermentáció során leggyakrabban tejsavbaktériumokat tartalmazó starterkultúrákat alkalmaznak. A *Lactiplantibacillus plantarum*, a *Lacticaseibacillus casei*, a *Pediococcus pentosaceus* és az *Enterococcus faecium* gyors savtermelő képességük révén rövid idő alatt csökkentik a fermentációs közeg pH-ját, ami elősegíti a kívánt mikrobiális közösség kialakulását, miközben gátolja a romlást okozó mikroorganizmusok szaporodását (Kung és mtsai., 2018).

A fermentáció során elsősorban tejsav képződik, ugyanakkor a fermentáció típusától, az alkalmazott mikroorganizmusoktól és a technológiai paraméterektől függően ecetsav, etanol, szén-dioxid, valamint számos egyéb bioaktív metabolit is keletkezhet (Betchem és mtsai., 2024; Akhtar és mtsai., 2025). Ezek a vegyületek együttesen határozzák meg a fermentált takarmány mikrobiológiai stabilitását, kémiai összetételét és funkcionális tulajdonságait.

Takarmányozási szempontból a folyadékfázisú fermentáció jelentős előnye, hogy javíthatja a táplálóanyagok emészthetőségét és hasznosulását, csökkentheti az antinutritív komponensek mennyiségét, valamint növelheti a takarmány mikrobiológiai biztonságát (Canibe és Jensen, 2012; Missotten és mtsai., 2015). A fermentáció során képződő szerves savak és egyéb antimikrobiális metabolitok hozzájárulnak a patogén mikroorganizmusok visszaszorításához, miközben javítják a fermentált takarmány aerob stabilitását (Betchem és mtsai., 2024).

A technológia alkalmazását ugyanakkor a magasabb víz- és energiaigény, valamint a fermentációs rendszerek beruházási költsége korlátozhatja. Emellett a nagy nedvességtartalmú rendszerek fokozott technológiai fegyelmet igényelnek, mivel érzékenyebbek a mikrobiológiai kontaminációra (Garcia-Ochoa és Gomez, 2009; Doran, 1995).

Mindkét fermentációs technológia fontos szerepet tölt be a modern takarmányozásban, mivel eltérő alapanyagok és takarmányozási célok esetén is hatékonyan alkalmazhatók. Míg a szilárd fázisú fermentáció elsősorban a rostos melléktermékek biológiai értéknövelésében kínál hatékony megoldást, addig a folyadékfázisú fermentáció a kontrollált fermentációs körülményeknek és az egyenletes termékminőségnek

köszönhetően a fermentált abrakkeverékek előállításának egyik legígéretesebb technológiájává vált (Soccol és mtsai., 2017; Betchem és mtsai., 2024).

3.1.3. A bendő mikrobiális ökoszisztémája és fermentációs folyamatai

A kérődző állatokról ismert, hogy a takarmányok lebontása részben fermentáció útján történik a bendőben. Mivel a bendő működése a kérődzők táplálóanyag hasznosítását alapvetően meghatározza, ezért ennek részletesebb bemutatása hasznos a fermentált takarmányok alkalmazásának jobb megértéséhez.

A bendő a kérődzők emésztésének központja, ahol a gazdaszervezet és a mikroorganizmusok között kialakult szimbiotikus kapcsolat lehetővé teszi a cellulózban és hemicellulózban gazdag növényi takarmányok hasznosítását. Mivel a kérődzők saját enzimrendszere nem képes a növényi sejtfal poliszacharidjainak lebontására, ezt a feladatot a bendő mikrobiális közössége végzi extracelluláris enzimek segítségével (McCann és mtsai., 2014; Gruninger és mtsai., 2019). Emiatt a bendőmikrobiomot gyakran a kérődzők „virtuális szervének” is tekintik, amely meghatározó szerepet játszik a táplálóanyagok emésztésében, az energiaellátásban és az állatok egészségi állapotának fenntartásában (Huws és mtsai., 2024).

A bendő mikrobiális ökoszisztémáját baktériumok, protozoonok, anaerob gombák és metanogén archeák alkotják, amelyek összehangolt működése biztosítja a takarmány lebontását és fermentációját (Hobson és Stewart, 1988; Flint és mtsai., 2012). A baktériumok közül kiemelkedő jelentőségűek a cellulózbontó fajok, például a *Fibrobacter succinogenes*, a *Ruminococcus albus* és a *Ruminococcus flavefaciens*,

amelyek a növényi sejtfalak lebontásában játszanak kulcsszerepet. Az anaerob gombák elsősorban a lignifikált növényi rostok feltárását segítik elő, míg a protozoonok hozzájárulnak a gyorsan fermentálható szénhidrátok hasznosításához és a bendő pH-jának stabilizálásához. A metanogén archeák a fermentáció során keletkező hidrogént metánná alakítják, ezáltal biztosítják a fermentációs folyamatok zavartalan működését, ugyanakkor energiavesztést okoznak a gazdaszervezet számára (Moss és mtsai., 2000).

A bendőben zajló fermentáció a mikroorganizmusok összehangolt enzimatis tevékenységének eredményeként valósul meg, amelynek során a takarmány szénhidrátjai, fehérjéi és kisebb mértékben lipidjei egyszerűbb vegyületekké alakulnak. A fermentáció legfontosabb végtermékei az illózsírsavak (volatile fatty acids, VFA), a mikrobiális nyersfehérje (microbial crude protein, MCP), valamint a szén-dioxid és a metán. Az ecetsav, a propionsav és a vajsav a kérődzők energiaigényének mintegy 60–70%-át fedezi, míg a mikrobiális fehérje a vékonybélben emésztődve kiváló aminosavforrást biztosít az állat számára (Cholewińska és mtsai., 2020).

A fermentáció intenzitását és irányát elsősorban a takarmány összetétele, a bendő pH-ja, valamint a mikrobiális közösség összetétele határozza meg. Rostban gazdag takarmányok etetésekor az ecetsavtermelés dominál, míg nagyobb keményítőtartalmú adagok esetén nő a propionsav aránya. A bendő optimális pH-ja 5,8–6,8 között van; ennél alacsonyabb érték a cellulózbontó mikroorganizmusok aktivitásának csökkenéséhez, a rostemésztés romlásához és a bendőacidózis kialakulásának fokozott kockázatához vezethet (Van Soest, 1994; Owens és mtsai., 1998). A fermentáció melléktermékeként

keletkező metán a takarmány energiájának mintegy 2–12%-os veszteségét jelenti, ezért a metánkibocsátás mérséklése a fenntartható kérődző-takarmányozás egyik kiemelt kutatási területe (Beauchemin és mtsai., 2022).

A bendő mikrobiális közösségének összetételét elsősorban a takarmány típusa, a bendő kémiai környezete, az etetési rendszer és az állat életkora határozza meg. A takarmányozás módosítása gyors változásokat idéz elő a mikrobiális populáció szerkezetében és aktivitásában, amely közvetlenül befolyásolja a fermentáció hatékonyságát, az illózsírsavak képződését, a mikrobiális fehérjeszintézist, valamint az ammónia- és metántermelést (de Menezes és mtsai., 2011).

A fermentált takarmányok alkalmazása kedvezően módosíthatja ezeket a folyamatokat, javíthatja a rostok emészthetőségét, fokozhatja a mikrobiális fehérjeszintézist, módosíthatja az illózsírsavak arányát és mérsékelheti a metánképződést (Russell és Rychlik, 2001; Gunun és mtsai., 2023). Ennek megfelelően a bendőmikrobiom takarmányozási úton történő célzott befolyásolása, különösen fermentált takarmányok és egyéb funkcionális takarmányozási megoldások alkalmazásával, ígéretes lehetőséget kínál a takarmányhasznosítás javítására, a termelési teljesítmény növelésére és az állattenyésztés környezeti terhelésének csökkentésére (Henderson és mtsai., 2015; Stewart és mtsai., 2019). Ezért a következő fejezetben részletesen bemutatásra kerülnek a fermentált takarmányok alkalmazásának kedvező hatásai.

3.2. Fermentált takarmányok alkalmazásának kedvező hatásai

A fermentált takarmányok alkalmazása az állattenyésztésben az elmúlt évtizedekben jelentősen felértékelődött, mivel a fermentációs technológiák nemcsak a takarmányok tartósítását szolgálják, hanem javítják azok mikrobiológiai minőségét, táplálóanyag-hasznosulását, aerob stabilitását és ízletességét is (Muck, 2010; Kung és mtsai., 2018).

A kutatások alapján az is elmondható, hogy a monogasztrikus állatok esetében a fermentált takarmányok kedvezően befolyásolják a bélmikrobiomot. A tejsavbaktériumok aránya akár 70–90%-ra növekedhet, miközben a patogén baktériumok visszaszorulnak (Missotten és mtsai., 2015). Ennek eredményeként a takarmányhasznosítás 5–10%-kal javulhat (Canibe és Jensen, 2012).

A fermentált takarmányok jelentős szerepet töltenek be a takarmánybiztonság növelésében is. A fermentáció során képződő szerves savak révén a patogén baktériumok száma akár 1–3 log egységgel csökkenthető (Canibe és mtsai., 2007).

A fermentált takarmányok alkalmazása a fenntarthatóság szempontjából is kiemelkedő. A mikrobiális fermentáció ugyanis lehetővé teszi mezőgazdasági és élelmiszeripari melléktermékek magasabb biológiai értékű takarmánnyá történő átalakítását, ezáltal csökkentve a hulladékképződést és javítva az erőforrás-hatékonytságot (Yafetto és mtsai., 2023).

3.2.1. A fermentáció során képződő bioaktív vegyületek és jelentőségük

A fermentáció során a mikroorganizmusok anyagcseréjének eredményeként számos bioaktív vegyület (pl. peptidek, vitaminok,

antioxidáns vegyületek) is képződik, illetve növekedhet azok biológiai hozzáférhetősége, ami hozzájárul a fermentált takarmányok mikrobiológiai stabilitásához, növeli mind a táplálóértéket, mind a funkcionális értéket és támogatja az állatok immunrendszerét (Hur és mtsai., 2014; (Adesogan és mtsai., 2019; Marco és mtsai., 2021).

A legfontosabb metabolitok közé a szerves savak, a bakteriocinek, az exopoliszacharidok, az extracelluláris enzimek, a bioaktív peptidek, a vitaminok, az antioxidáns vegyületek és a postbiotikumok tartoznak. Ezek a vegyületek nemcsak a fermentáció sikerességét határozzák meg, hanem kedvezően befolyásolják a takarmány minőségét, a táplálóanyagok hasznosulását és az állatok egészségi állapotát is (Betchem és mtsai., 2024; Akhtar és mtsai., 2025).

A fermentáció során képződő szerves savak, elsősorban a tejsav és az ecetsav, gyors pH-csökkenést idéznek elő, amely gátolja a romlást okozó és patogén mikroorganizmusok szaporodását. Hutkins (2008) kiemelte, hogy ennek eredményeként javul a fermentált takarmányok mikrobiológiai stabilitása és eltarthatósága. Az ecetsav emellett mérsékli az élesztők és penészgombák szaporodását, ezáltal hozzájárul az aerob stabilitás növeléséhez.

A tejsavbaktériumok számos törzse bakteriocineket termel, amelyek kis molekulatömegű antimikrobiális peptidek. Cleveland és mtsai. (2001) szerint a legismertebb bakteriocinok közé a nizin, a pediocin, az enterocin és a plantaricin tartozik. Ezek elsősorban a Gram-pozitív baktériumok növekedését gátolják, így természetes módon növelik a fermentált takarmányok mikrobiológiai biztonságát. Hasonló következtetésre jutottak Ouwehand és Vesterlund (2004), akik

kiemelték szerepüket a nemkívánatos mikroorganizmusok visszaszorításában.

A fermentáció során képződő exopoliszacharidok (EPS) javítják a fermentált termékek szerkezetét, vízmegkötő képességét és stabilitását. Fusco és mtsai. (2015) rámutattak, hogy az EPS-ek elősegítik a mikroorganizmusok stressztűrését és biofilmképzését. Emellett Betchem és mtsai. (2024) szerint prebiotikus tulajdonságaik révén kedvezően befolyásolhatják a bél- és bendőmikrobiom összetételét.

A mikroorganizmusok által termelt extracelluláris enzimek, például a cellulázok, hemicellulázok, xilanázok, proteázok és fitázok elősegítik a növényi sejtfal részleges lebontását, ezáltal növelik a rostok, fehérjék és ásványi anyagok hozzáférhetőségét. Li és mtsai. (2023) igazolták, hogy ezek az enzimek javítják a rostok bendőbeli lebomlását, míg Betchem és mtsai. (2024), valamint Akhtar és mtsai. (2025) szerint hozzájárulnak a fermentált takarmányok emészthetőségének és táplálóanyag-hasznosulásának javításához.

A fermentáció további előnye, hogy csökkentheti az antinutritív vegyületek, például a fitinsav, a tanninok és a tripszininhibitorok mennyiségét, ezáltal javítva a fehérjék és ásványi anyagok hasznosulását. Betchem és mtsai. (2024), valamint Akhtar és mtsai. (2025) szerint ez különösen a gabona- és olajosmag-alapú melléktermékek fermentációja során növeli a takarmány biológiai értékét.

Az utóbbi években egyre nagyobb figyelem irányul a postbiotikumokra, vagyis a fermentáció során képződő mikrobiális eredetű bioaktív metabolitokra és sejtkomponensekre. Żółkiewicz és mtsai. (2020) kimutatták, hogy ezek élő mikroorganizmusok jelenléte

nélkül is kedvezően befolyásolhatják a mikrobiom összetételét, az immunválaszt és a bélrendszer működését. Salminen és mtsai. (2021) a postbiotikumokat a fermentált takarmányok egyik legígéretesebb funkcionális összetevőinek tekintik, amelyek a táplálóanyagok hasznosulásának javításában is szerepet játszhatnak.

A fermentáció során képződő bioaktív vegyületek alapvető szerepet játszanak a fermentált takarmányok minőségének, biztonságának és biológiai értékének növelésében.

3.2.2. A fermentáció hatása a takarmány táplálóértékére

A fermentáció során a mikroorganizmusok enzimatis aktivitásuk révén átalakítják a takarmány szerves komponenseit, aminek következtében módosul annak kémiai összetétele, emészthetősége és mikrobiológiai minősége. Muck és mtsai. (2018) szerint a fermentáció során végbemenő mikrobiológiai folyamatok alapvetően meghatározzák a fermentált takarmányok minőségét, míg Kung és mtsai. (2018) kiemelték, hogy a keletkező fermentációs végtermékek jelentősen befolyásolják azok takarmányozási értékét.

A fermentáció egyik legfontosabb következménye a szénhidrátfrakció átalakulása. A fermentáció során a mikroorganizmusok enzimatis aktivitása következtében a keményítő és a nem keményítő jellegű poliszacharidok részben lebomlanak, ami akár 5–15%-kal növelheti az emészthetőséget különböző állatfajokban (Missotten mtsai., 2015; Canibe és Jensen, 2012; Lyberg és mtsai., 2006).

A mikroorganizmusok a vízzoldható szénhidrátokat elsősorban tejsavvá, kisebb mennyiségben ecetsavvá és propionsavvá alakítják. A keletkező szerves savak csökkentik a takarmány pH-ját, ezáltal gátolják a káros

mikroorganizmusok szaporodását és javítják a fermentált takarmány aerob stabilitását (Kung és mtsai., 2018). A savas közeg emellett elősegítheti a sejtfal-összetevők részleges feltárását, ami kedvezően befolyásolja a rostok emészthetőségét. Ezt Li és mtsai. (2023) is igazolták, akik feruloil-észteráz-termelő *Lactiplantibacillus plantarum* alkalmazásával javították a lucernaszilázs bendőbeli lebomlását, miközben csökkent az NDF- és ADF-tartalom.

A fermentáció a fehérjefrakciót is módosítja. A mikroorganizmusok proteolitikus enzimejei a fehérjék egy részét peptidekké és aminosavakká bontják, ami javíthatja azok emészthetőségét és hasznosulását. Ugyanakkor nem megfelelő fermentációs körülmények között túlzott fehérjebomlás és ammóniaképződés is bekövetkezhet, amely csökkentheti a takarmány tápláléértékét. Ezért a fermentációs paraméterek megfelelő szabályozása alapvető jelentőségű (Muck és mtsai., 2018).

A fermentáció kedvezően befolyásolhatja a takarmány biológiai értékét is. Egyes tejsavbaktériumok és élesztők vitaminokat, bioaktív peptideket és egyéb funkcionális metabolitokat termelnek, illetve növelhetik azok biológiai hozzáférhetőségét. Okoye és mtsai. (2023) szerint ezek a vegyületek nemcsak a fermentált takarmányok tápláléértékét növelik, hanem hozzájárulhatnak az állatok egészségi állapotának és termelési teljesítményének javításához is.

Kérdőzők esetében a fermentált takarmányok további előnye, hogy kedvezően befolyásolhatják a bendőfermentációt. A fermentáció során képződő szerves savak és a mikrobiális anyagcseretermékek elősegíthetik a cellulolitikus mikroorganizmusok működését, javíthatják a rostok emészthetőségét, valamint hozzájárulhatnak a

bendő stabil fermentációs környezetének fenntartásához. Gunun és mtsai. (2023) szerint a fermentált mezőgazdasági melléktermékek alkalmazása javítja a bendőfermentáció hatékonyságát, kedvezően módosítja a bendőmikrobiom összetételét, és ezáltal fokozhatja a táplálóanyagok hasznosulását és az állatok termelési teljesítményét.

3.2.3. A fermentáció hatása a toxinokra és az antinutritív anyagokra

A fermentáció a takarmányok minőségének javításában nemcsak a tartósítás és az emészthetőség fokozása révén játszik szerepet, hanem a toxinok és az antinutritív anyagok csökkentésében is. A növényi eredetű takarmányok tartalmazhatnak olyan természetes vegyületeket, amelyek gátolják a táplálóanyagok hasznosulását vagy közvetlen toxikus hatást fejtenek ki az állati szervezetre. A fermentáció során lezajló mikrobiális és enzimatis folyamatok azonban képesek ezen komponensek mennyiségét csökkenteni, illetve azok szerkezetét módosítani, így mérsékelve káros hatásukat (Nout és mtsai., 2000; Ray és mtsai., 2022).

Az antinutritív anyagok közé sorolható a fitinsav, tanninok, tripszin-inhibitorok, lektinek, szaponinok és glükozinolátok, amelyek a gabonákban és hüvelyesekben fordulnak elő. Gilani és mtsai. (2012) szerint ezek az anyagok képesek komplexeket képezni ásványi anyagokkal vagy fehérjékkel, illetve gátolni az emésztőenzimek működését, ezáltal csökkentve a takarmány tápláléértékét.

A fermentáció során a mikroorganizmusok extracelluláris enzimeket termelnek, amelyek lebontják ezeket az antinutritív komponenseket. A fitinsav lebontása azért fontos, mert ez az egyik legfontosabb antinutritív faktor a takarmányokban. Lei és mtsai. (2013) beszámoltak

arról, hogy a fermentáció során termelődő fitáz enzim hidrolizálja a fitátot, így felszabadulnak a kötött foszfor- és ásványianyag-frakciók, ami jelentősen javítja azok biológiai hasznosulását. Kimutatták, hogy a fermentáció hatására a fitinsav-tartalom akár 20–50%-kal is csökkenhet, ezáltal javul az ásványi anyagok hasznosulása (Reddy és mtsai., 1989). A fermentáció emellett csökkenti a tripszin-inhibitorok aktivitását is, amelyek egyébként gátolnák a fehérjék emésztését, valamint mérsékli a tanninok fehérjekicsapó hatását is (Frias és mtsai., 2008; Mukherjee és mtsai., 2015).

A fermentáció során bekövetkező pH-csökkenés és a szerves savak (pl. tejsav, ecetsav) felhalmozódása szintén hozzájárul az antinutritív anyagok inaktiválásához. Az alacsony pH kedvezőtlen környezetet teremt számos káros vegyület stabilitása szempontjából, és elősegíti azok lebomlását vagy oldhatóságának megváltozását (Holzapfel, 2002; Sindhu és mtsai., 2016).

A toxinok közül különösen nagy jelentőséggel bírnak a mikotoxinok, amelyek penészgombák (pl. *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*) által termelt másodlagos metabolitok. Ezek közé tartoznak az aflatoxinok, az ochratoxin A, a zearalenon és a fumonizinek, amelyek súlyos egészségkárosító hatással lehetnek az állatokra, csökkentve ezáltal a termelési teljesítményt és növelve a megbetegedések kockázatát (Bryden, 2012; Ogunade és mtsai., 2018).

A fermentáció több mechanizmuson keresztül is képes csökkenteni ezen toxinok mennyiségét, bizonyos esetekben akár 10–30%-kal (Kabak és mtsai., 2006). Egyrészt egyes tejsavbaktériumok képesek a mikotoxinok fizikai megkötésére sejtfalukon keresztül, így csökkentik azok biológiai hozzáférhetőségét (Fuchs és mtsai., 2008). Másrészt

bizonyos mikroorganizmusok enzimatis úton képesek a toxinok részleges lebontására vagy kevésbé toxikus metabolitokká történő átalakítására (Binder és mtsai., 2007). Emellett a fermentáció során kialakuló anaerob és savas környezet gátolja a toxintermelő penészgombák szaporodását, ezáltal megelőzi újabb toxinok képződését (Kung és mtsai., 2018).

Kérődző állatok esetében a toxinok csökkenése mérsékli a bendőmikrobiális fermentáció zavarait és az immunrendszer terhelését (Jouany és mtsai., 2007).

3.3. Az új típusú fermentált takarmányok kérődzőkben

Ahogy korábban említésre került, már nem csak az erjesztett tömegtakarmányok formájában találkozhatunk fermentált takarmánnyal a kérődzők adagjában, hanem további alkalmazási területek is megjelentek.

3.3.1. Fermentált TMR

A fermentált TMR a kérődzők takarmányozásának egyik innovatív formája, amely során a teljes takarmánykeveréket kontrollált anaerob fermentációnak vetik alá. A technológia egyik legfontosabb jellemzője, hogy a fermentáció során intenzív mikrobiológiai aktivitás zajlik, amely mérhető kémiai és táplálóértékbeli változásokat eredményez a takarmányban.

A fermentáció következtében a TMR pH-ja gyorsan csökken, jellemzően 6,0–6,5 értékről 3,8–4,5 közé, ami lényeges a takarmány stabilitása szempontjából (Kung és mtsai., 2018; Dong és mtsai., 2020).

A tejsav koncentrációja rendszerint 80–120 g/kg szá. tartományba esik, míg az ecetsav koncentrációja 20–40 g/kg szá., ami kedvező fermentációs profilt jelez (Muck és mtsai., 2018). A fermentált TMR szárazanyag-tartalma általában 40–60%, amely optimális feltételeket biztosít a tejsavas erjedéshez és a stabil tárolhatósághoz.

A fermentált TMR mikrobiológiai stabilitása is jelentősen javul. A penész- és élesztőszám akár 1–2 log egységgel csökkenhet, míg egyes mikotoxinok koncentrációja 20–60%-kal mérséklődhet megfelelő fermentáció esetén (Ogunade és mtsai., 2018). A tejsavbaktériumok száma elérheti a 10^6 – 10^8 CFU/g értéket, ami biztosítja a fermentáció dominanciáját és a romlási folyamatok gátlását.

A fermentáció kedvezően befolyásolja a táplálóanyagok hasznosulását, javítja a nyersfehérje és a rostfrakciók emészthetőségét, valamint elősegíti a bennőmikrobák számára könnyen hasznosítható nitrogénformák kialakulását, ezáltal fokozva a mikrobiális fehérjeszintézist (Wang és mtsai., 2024). A fermentált TMR alkalmazása emellett kedvezően hat a termelési teljesítményre, javíthatja a takarmányhasznosítást, módosíthatja a bennőfermentációt, valamint elősegítheti a mikrobiális közösség kedvező irányú változását (Zhang és mtsai., 2021; Wang és mtsai., 2024). További előnye, hogy lehetővé teszi különböző mezőgazdasági melléktermékek biztonságos és hatékony felhasználását a kérődzők takarmányozásában, miközben javítja a takarmány mikrobiológiai stabilitását, aerob stabilitását és táplálóértékét (Zhang és mtsai., 2021; Wang és mtsai., 2024).

3.3.2. Fermentált koncentrált takarmányok

A fermentált koncentrált takarmányok alkalmazása az utóbbi években a kérődző takarmányozás egyik intenzíven kutatott területévé vált nemzetközi viszonylatban, elsősorban a táplálóanyag-hasznosulás javításában, a bendőfermentáció optimalizálásában és a termelési paraméterek növelésében betöltött szerepük miatt.

A fermentáció egyik legfontosabb következménye a táplálóanyagok emészthetőségének növekedése. Szilárd fázisú fermentációval kezelt szójadara esetében a nyersfehérje emészthetősége 4–9%-kal nőtt, míg a fitinsav-tartalom akár 40–70%-kal csökkent (Shi és mtsai., 2017). Hasonló kedvező eredményt kaptak fermentált gabonaalapú keverékek esetében a keményítő részleges hidrolízise következtében amikor a gyorsan fermentálható szénhidrátfrakció aránya 10–25%-kal emelkedett, ami közvetlenül hozzájárult a bendőmikrobák aktivitásának fokozásához (Chen és mtsai., 2020).

A fermentált abrak-keverékek jelentős hatást gyakorolnak a bendőfermentációs paraméterekre is. Kísérleti adatok szerint fermentált koncentrált takarmány etetésekor a bendő pH-ja stabilabb tartományban (6,0–6,4) marad, szemben a hagyományos abrak-keverékek esetében gyakran megfigyelhető 5,6–5,8 értékkel, ami csökkenti a szubakut bendőacidózis kockázatát (Jalc és mtsai., 2009). Az illózsírsav-termelés mennyisége 8–15%-kal növekedett, különösen a propionsav aránya emelkedett, amely a glükoneogenezis fő prekursora, így közvetlenül hozzájárul a tejtermelés energiaszükségletének fedezéséhez (Nocek és Tamminga, 1991). Emellett a mikrobiális fehérjeszintézis hatékonysága akár 10–20%-kal is javulhat fermentált takarmányok alkalmazása mellett.

A fermentált koncentrált takarmányok használata pozitív hatást gyakorol a termelési eredményekre. Tejelő tehenek esetében az ilyen takarmányok etetése 1,5–3 kg-mal növelte a napi tejhozamot, miközben a tej fehérjetartalma is 0,1–0,2 százalékponttal emelkedett (Kung és mtsai., 2018). Húsmarhák esetében az átlagos napi testtömeggyarapodás 5–12%-kal emelkedett, míg a takarmányértékesítés (FCR) 6–10%-kal javult (Chen és mtsai., 2020). Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a fermentált keverékek nemcsak a bendőfolyamatokat optimalizálják, hanem közvetlen gazdasági előnyöket is biztosítanak. A fermentáció további jelentős hatása a mikrobiológiai biztonság és takarmánystabilitás javulása. A tejsav koncentrációja fermentált abraktakarmányokban elérheti a 80–120 g/kg szárazanyag szintet, amely a pH-t 4,0–4,5 közé csökkenti, ezáltal gátolja a patogén baktériumok, például az *Escherichia coli* és *Salmonella* fajok szaporodását (Muck és mtsai., 2018).

A fermentáció során bizonyos mikotoxinok koncentrációja 20–50%-kal csökkenhet, különösen akkor, ha specifikus mikrobiális inokulumokat alkalmaznak (Hathout és Aly, 2014). Ez különösen fontos a gabonaalapú takarmányok esetében, amelyek gyakran szennyezettek lehetnek penészgombák által termelt toxinokkal.

3.4. Az új típusú fermentált takarmányok alkalmazásának hatásai kérődzőkben

3.4.1. A fermentált takarmányok hatása a bendőfermentációra

Számos kutatás foglalkozik a fermentált takarmányok bendőfermentációra gyakorolt hatásával. Kim és mtsai. (2012)

vizsgálatukban három különböző takarmányozási kezelést alkalmaztak: T1 (fermentált takarmány, magas zsenília-, mammut rozsok- és egészárpa-tartalom), T2 (fermentált takarmány, rizsszalma és egész árpa), valamint T3 (rizsszalma, egész árpa és probiotikumok, de fermentált takarmány nélkül). Az illózsírsavak termelődése a fermentáció előrehaladtával növekedett, ami a takarmány emészthetőségének javulását jelezte. Jiang és mtsai. (2019) azt vizsgálták, hogy a fermentált kukoricaglutén-liszt (FCGM) kiegészítés miként befolyásolja az elválasztás utáni borjak növekedését, bendőfermentációját és plazmametabolitjait. Az FCGM-et fogyasztó borjak bendőjében magasabb ammónia-nitrogén-, ecetsav-, propionsav-, összes illózsírsav-, mikrobiális fehérje- és proteinázszintet mértek. A bendő pH-ja alacsonyabb volt az FCGM-csoportban, miközben nőtt a Bacteroidetes és a Prevotellaceae relatív abundanciája. Yao és mtsai. (2020) a szójadara fermentálatlan, illetve mikrobiálisan fermentált sárgabúza-szeszmoslékkel történő helyettesítésének hatását vizsgálták in vitro bendőfermentációs paraméterekre. A mikrobiális fermentáció nem befolyásolta negatívan a gáztermelést, ugyanakkor növelte a mikrobiális fehérje és a nyersfehérje emészthetőségét, valamint javította a nitrogénhasznosítás hatékonyságát. Feizi és mtsai. (2020) fermentált szójadara (FSBM) etetésével alacsonyabb ecetsav-, ammónia-N- és ecetsav/propionsav arányt, ugyanakkor magasabb kapronsav-, valeriánsav- és izovaleriánsav-koncentrációt figyeltek meg, amelyet a bendő mikrobiális közösségének átalakulása kísért. A fermentált teljes takarmánykeverékek (FTMR) bendőfermentációra gyakorolt kedvező hatását több tanulmány is igazolta. Miguel és mtsai. (2020) kimutatták, hogy a *Lactobacillus acidophilus* és *Bacillus subtilis*

együttes alkalmazásával előállított FTMR csökkentette a bendő pH-ját, ugyanakkor növelte az ecetsav-, propionsav- és összes illózsírsav-koncentrációt. Li és mtsai. (2021) szerint a fermentált TMR javította a bendő fermentációját, növelte a propionsav- és vajsavarányt, miközben csökkentette a metántermelést és kedvezően módosította a bendő mikrobiomját. Zhang és mtsai. (2020) szintén arról számoltak be, hogy a fermentált TMR növelte az illózsírsavak koncentrációját és az ammónia-N szintjét, miközben csökkentette az NDF- és ADF-felvételt. Amin és mtsai. (2022) eredményei szerint a fermentált szójadara növelte az ecetsav arányát, a bendő pH-ját és az ecetsav:propionsav arányt, míg Yusuf és mtsai. (2022) fermentált gyapotmagdarát tartalmazó FTMR etetésekor szignifikánsan magasabb összes illózsírsav-koncentrációt mértek, mint a kontroll- vagy fermentált repcedarát tartalmazó csoportban. Gao és mtsai. (2023) kimutatták, hogy a fermentált repcedara etetése 12%-kal mérsékelte a metántermelést és az archeák abundanciáját, miközben növelte a propionsav moláris arányát és csökkentette az ecetsav/propionsav arányt. Rehemujiang és mtsai. (2023) fermentált gyapotmag- és repcedarát tartalmazó takarmányok etetése során fokozott mikrobiális fehérjeszintézist, magasabb összes illózsírsav-koncentrációt, valamint a *Prevotella* nemzetség nagyobb relatív abundanciáját figyelték meg. Ezzel párhuzamosan javult a táplálóanyagok bendőbeli lebomlása, és csökkent az antinutritív anyagok mennyisége. Song és mtsai. (2023) tejelő tehenekben fermentált TMR etetésekor magasabb ammónia-N-, ecetsav- és összes illózsírsav-koncentrációt, valamint nagyobb bakteriális és gombadiverzitást mutattak ki, ami a bendő mikrobiális közösségének kedvező átalakulására utal. Lee és mtsai. (2023)

fermentált abrakkeverék alkalmazásával a tejsavbaktériumok, a *Bacillus* fajok és a *Lachnospiraceae* család nagyobb relatív abundanciáját figyelték meg, ami a bendő mikrobiális stabilitásának javulását jelezte. Li és mtsai. (2023) feruloil-észteráz-termelő *Lactiplantibacillus plantarum* alkalmazásával javították a lucernaszilázs bendőbeli emészthetőségét, csökkentették az NDF- és ADF-tartalmat, valamint növelték a cellulolitikus baktériumok relatív abundanciáját. Kaewwongsa és mtsai. (2024) kimutatták, hogy a *Saccharomyces cerevisiae*-vel fermentált maniókaliszt alkalmazása növelte a propionsav- és vajsavarányt, miközben csökkentette az ecetsav arányát. Pu és mtsai. (2025) fermentált sütőipari melléktermékek etetésekor nagyobb propionsav-arányt, kisebb ecetsav/propionsav arányt és mérsékelt metántermelést figyeltek meg, amely együtt járt a *Succiniclasicum* és *Megasphaera* baktériumok felszaporodásával. A legfrissebb eredmények szerint Zhang és mtsai. (2025) mikrobiálisan fermentált rizskorpa etetésével magasabb propionsav-, ammónia-N- és mikrobiális fehérjekoncentrációt, jobb NDF-emészthetőséget és nagyobb *Prevotella* abundanciát mutattak ki tejelő tehenek bendőjében, ami a tejtermelés javulásával is együtt járt.

3.4.2. A fermentált takarmányok hatása a tejtermelésre és a tej összetételére

A fermentált takarmányok tejtermelésre és tejösszetételre gyakorolt hatását számos vizsgálat értékelte, azonban az eredmények nem minden esetben egységesek. A korábbi kutatások alapján a fermentáció önmagában nem minden esetben növeli a tejtermelést, ugyanakkor

javíthatja a táplálóanyagok hasznosulását és ezáltal kedvezően befolyásolhatja a tejtermelési mutatókat. Vasupen és mtsai. (2006) fermentált teljes takarmánykeverék (FTMR) etetése során nem találtak szignifikáns különbséget sem a szárazanyag-felvételben, sem a napi tejtermelésben, valamint a tej zsír- és fehérjetermelésében a hagyományos TMR-rel etetett tehenekhez képest. Hasonló eredményekről számoltak be Wongnen és mtsai. (2009), akik szerint az FTMR alkalmazása nem változtatta meg sem a tejhozamot, sem a tej zsír- és fehérjetartalmát. Ezzel szemben Shan és mtsai. (2018) fermentált kínai gyógynövénykészítmény alkalmazásával hőstressznek kitett tejelő teheneknél szignifikánsan nagyobb tejtermelést, valamint magasabb tejzsír- és tejfehérje-termelést figyeltek meg. Hasonlóan kedvező eredményeket közöltek Yao és mtsai. (2020), akik fermentált növényi fehérjeforrás etetésével nagyobb tejhozamot, energiakorrigált tejtermelést és tejfehérje-termelést értek el, miközben a takarmányozás gazdaságossága is javult. Zhang és mtsai. (2020) fermentált TMR alkalmazásakor magasabb tejzsír-koncentrációt és tejzsírhozamot figyeltek meg, miközben a tejtermelés nem változott szignifikánsan. A szerzők ezt a jobb táplálóanyag-hasznosítással és a bendő mikrobiális fehérjeszintézisének fokozódásával magyarázták. Amin és mtsai. (2022) fermentált szójadara etetésével nagyobb tejfehérje- és tejzsírtermelést, magasabb zsírral korrigált tejhozamot (FCM), valamint alacsonyabb szomatikus sejtszámot mutattak ki. Song és mtsai. (2023) szerint a fermentált teljes takarmánykeverék ugyan elsősorban a bendőfermentációt módosította, de a kedvezőbb fermentációs környezet hosszabb távon hozzájárulhat a tejtermelés stabilizálásához.

A legfrissebb eredmények alapján a mikrobiálisan fermentált rizskorpa etetése már közvetlen termelési előnyökkel is járt. Zhang és mtsai. (2025) a fermentált rizskorpát fogyasztó teheneknél nagyobb tejhozamot, jobb takarmányértékesítést, magasabb zsírtartalomra korrigált (FCM) és energiatartalomra korrigált (ECM) tejhozamot, valamint nagyobb tejszírhozamot és tejfehérje-tartalmat mutattak ki, annak ellenére, hogy a szárazanyag-felvétel mérséklődött.

3.4.3. Fermentált takarmányok etetésének hatása a növekedési teljesítményre és húsminőségre

Számos vizsgálat igazolja, hogy a fermentált takarmányok kedvezően befolyásolják a kérődzők növekedési teljesítményét, a takarmány-hasznosítást és bizonyos esetekben a húsminőséget is. Kim és mtsai. (2012) Hanwoo hízbikákon végzett kísérletükben fermentált rizskorpa–búzakorpa alapú takarmány etetése mellett szignifikánsan nagyobb testtömeg-gyarapodást figyeltek meg, miközben a takarmányfelvétel mérséklődött, ami a táplálóanyagok hatékonyabb hasznosulására utal. A fermentált takarmányt fogyasztó állatoknál magasabb albuminkoncentrációt, valamint alacsonyabb vérkarbamid-, glükóz- és kreatininszintet mértek, ami kedvezőbb fehérje- és energia-anyagcserére utal. Későbbi vizsgálatukban Kim és mtsai. (2018) fermentált teljes takarmánykeverék (FTMR) etetése mellett nagyobb szárazanyag-felvételt, nagyobb napi testtömeg-gyarapodást és kedvezőbb vágott testtömeget mutattak ki. Az FTMR emellett javította a húsminőséget is: nőtt a márványozottság és a nyerszsír-tartalom, csökkent a nyírőerő, valamint kedvezőbb érzékszervi tulajdonságokat

eredményezett. Borjakon végzett vizsgálatok szintén kedvező eredményekről számoltak be. Rezazadeh és mtsai. (2019) fermentált szójadara etetése mellett javuló növekedési teljesítményt, nagyobb testméreteket és mérsékeltabb gyulladáshoz való választ figyeltek meg. Jiang és mtsai. (2019) fermentált kukoricaglutén-liszt alkalmazásakor nagyobb napi testtömeg-gyarapodást és jobb takarmány-hasznosítást tapasztaltak. Egy későbbi vizsgálatban Jiang és mtsai. (2020) azt is kimutatták, hogy a fermentált kukoricaglutén-liszt gyorsabb növekedést, kisebb hasmenési gyakoriságot, kedvezőbb antioxidáns- és immunstátuszt, valamint a bendő- és bélmikrobiom előnyös átalakulását eredményezte. Hu juhokon Su és mtsai. (2020) kimutatták, hogy a 10%-os fermentált *Broussonetia papyrifera* kiegészítés javította a növekedési teljesítményt, kedvezően befolyásolta az izomfehérjetartalmat, az ízanyagok kialakulásában szerepet játszó aminosavak mennyiségét, valamint az izom zsírsavösszetételét.

3.4.4. A fermentált takarmányok szerepe a metánkibocsátás csökkentésében

Az állattenyésztés kiemelt szerepet játszik a növekvő globális élelmiszerigény kielégítésében, ugyanakkor jelentős környezeti terheléssel is jár (Beauchemin és mtsai., 2008; Gerber és mtsai., 2013). A kérődzők a mezőgazdasági metánkibocsátás egyik legfontosabb forrását jelentik, mivel a kibocsátás döntő része az enterális fermentáció során keletkezik (Beauchemin és mtsai., 2020). A metánképződés az állatok számára energiaveszteséget is jelent, amely a felvett bruttó energia 2–12%-át is elérheti (Niu és mtsai., 2018).

Az utóbbi években egyre nagyobb figyelem irányul olyan takarmányozási stratégiákra, amelyek javítják a bendő fermentációs hatékonyságát és mérséklik a metántermelést (Knapp és mtsai., 2014). A fermentált takarmányok kedvezően befolyásolhatják a bendő mikrobiális közösségét, módosíthatják az illózsírsav-képződés arányát, valamint elősegíthetik a hidrogén propionátképzés irányába történő hasznosulását, ami csökkentheti a metanogenezist (Jeyanathan és mtsai., 2014). A takarmány emészthetősége és fermentálhatósága szintén meghatározó tényező a keletkező üvegházhatású gázok mennyiségében (Beauchemin és mtsai., 2008; Knapp és mtsai., 2014). A fermentált takarmányok metántermelésre gyakorolt hatásáról azonban még kevés *in vivo* vizsgálat áll rendelkezésre. Cao és mtsai. (2010) juhokon fermentált és fermentálatlan teljes takarmánykeveréket (FTMR, illetve TMR) hasonlítottak össze. A fermentált takarmány javította a táplálóanyagok emészthetőségét, valamint szignifikánsan csökkentette a napi metánkibocsátást és a metán formájában elveszített energia mennyiségét. A szerzők szerint a kedvező hatás hátterében a bendőfermentáció propionát irányú eltolódása állhat.

Hasonló eredményekről számoltak be Gao és mtsai. (2023), akik fermentált repcedara etetésének hatását vizsgálták tejelő teheneken. A fermentált takarmány növelte a propionsav arányát, javította a táplálóanyagok emészthetőségét, és csökkentette a metánkibocsátást anélkül, hogy kedvezőtlenül befolyásolta volna a tejtermelést vagy a tej összetételét. Eredményeik alapján a fermentált takarmányok ígéretes lehetőséget jelentenek a gazdasági haszonállatok környezeti terhelésének mérséklésére.

3.5. Az elektronikus orr alkalmazása a fermentált takarmányok aromaprofiljának vizsgálatában

A fermentáció során a mikroorganizmusok anyagcserájének eredményeként számos illékony szerves vegyület (volatile organic compounds, VOC) keletkezik, amelyek meghatározó szerepet játszanak a fermentált termékek érzékszervi tulajdonságainak kialakulásában. A keletkező VOC-ok mennyisége és összetétele szoros összefüggésben áll az alkalmazott mikroorganizmusokkal, a szubsztrát összetételével, valamint a fermentációs körülményekkel (Leroy és De Vuyst, 2004; Smid és Kleerebezem, 2014). A fermentált takarmányok esetében ezek a vegyületek nemcsak az aroma kialakulásában játszanak szerepet, hanem információt szolgáltatnak a fermentáció sikerességéről, a mikrobiológiai stabilitásról és a technológiai folyamatok minőségéről is. Emiatt az illékony vegyületek gyors és objektív vizsgálata egyre fontosabb szerepet kap a modern takarmánykutatásban.

Az aromák különböző illékony molekulák összetett keverékei. Egy aroma rendszerint több tucat vagy akár több száz különböző vegyületből épül fel, amelyek együttesen alakítják ki az adott minta jellegzetes illatprofilját. Már a komponensek koncentrációjának csekély változása is érzékelhető módosulást eredményezhet az aromában (Wilson és Baietto, 2009).

Az aromák jellemzésére négy alapvető paramétert alkalmaznak: az érzékelési küszöböt, az intenzitást, a minőséget és a hedonikus értéket (Yuwono és Lammers, 2004). A minőségi leírás során az aromákat gyakran földes, virágos, gyümölcsös, fűszeres, halas, bomlásra utaló, gyógyhatású vagy kémiai jellegű csoportokba sorolják (McGinley és McGinley, 1998).

A szaglás az egyik legősibb kémiai érzékelési mechanizmus. Az illékony molekulák az orr szaglóhámjában található receptorokhoz kötődnek, majd az ingerület az agy megfelelő területeire jutva alakul ki a szagérzet (Sell, 2014; Manguela és Merlo, 2023). Axel és Buck kutatásai igazolták, hogy a szaglóreceptorok gén családjának rendkívül változatos, ami lehetővé teszi a különböző szaganyagok felismerését, ezen eredményeikért 2004-ben fiziológiai és orvostudományi Nobel-díjat kaptak. Bár az emberi szaglás rendkívül érzékeny, analitikai szempontból számos korláttal rendelkezik. Az érzékelést befolyásolja az egyéni érzékenység, az egészségi állapot, a fáradtság, valamint a szaglóadaptáció, ezért az emberi érzékszervi bíráló reprodukálhatósága korlátozott (Doty, 2015).

A VOC-ok részletes vizsgálatára hagyományosan gázkromatográfiás–tömegspektrometriás (GC–MS) és nagy teljesítményű folyadékkromatográfiás (HPLC) módszereket alkalmaznak. Ezek nagy pontosságot biztosítanak, ugyanakkor költségesek, időigényesek és laboratóriumi körülményeket igényelnek. Ez ösztönözte olyan gyors, roncsolásmentes analitikai módszerek fejlesztését, amelyek alkalmasak a komplex aromaprofilok összehasonlítására (Nagle és mtsai., 1998; Bhattacharyya és Bandyopadhyay, 2010).

Az elektronikus orr (electronic nose, e-nose) olyan műszer, amely különböző érzékelőkből álló szenzorrendszer segítségével érzékeli az illékony szerves vegyületek együttes mintázatát. A készülék nem az egyes vegyületek azonosítására szolgál, hanem az azokból kialakuló jellegzetes "illatlenyomat" felismerésére, amelyet kemometriai módszerekkel értékelnek (Gardner és Bartlett, 1994; Wilson és Baietto, 2009). A modern rendszerekben leggyakrabban főkomponens-analízist

(PCA), lineáris diszkriminancia-analízist (LDA/DFA), részleges legkisebb négyzetek regresszióját (PLS), valamint egyre gyakrabban mesterséges intelligencia alapú osztályozó algoritmusokat alkalmaznak (Abi-Rizk és mtsai., 2023).

Az elektronikus orr fejlesztése az 1980-as években gyorsult fel Persaud és Dodd (1982), valamint Ikegami és Kaneyasu (1985) munkásságának köszönhetően. Gardner és Bartlett 1988-ban megalkotta az elektronikus-orr kifejezést, amit később úgy határoztak meg, mint olyan műszer, amely egy elektronikus kémiai érzékelőt tartalmaz, részleges specifikussággal és megfelelő mintázatfelismerő rendszerrel, és amely képes egyszerű vagy összetett szagok felismerésére (Gardner és Bartlett, 1994). Napjainkban az elektronikus orr az élelmiszeripar, a mezőgazdaság, a környezetvédelem és az orvosi diagnosztika egyik dinamikusan fejlődő analitikai eszköze (Wilson, 2013).

A takarmányiparban különösen fontos a gyors minőségellenőrzés. A FEFAC (2024) adatai szerint az Európai Unió évente több mint 147 millió tonna ipari takarmánykeveréket állít elő, amelynek minőségbiztosítása egyre nagyobb igényt támaszt a gyors, objektív és költséghatékony analitikai módszerek iránt. Az elektronikus orr ebben a folyamatban ígéretes eszköz, mivel roncsolásmentesen, néhány perc alatt képes összehasonlítani a minták VOC-profilját.

A fermentált takarmányok vizsgálatában az elektronikus orr elsősorban a fermentáció során kialakuló aromaprofil-változások nyomon követésére, a különböző starterkultúrák és fermentációs technológiák összehasonlítására, valamint a romlási folyamatok korai felismerésére alkalmazható (Campagnoli és Dell'Orto, 2013; Abi-Rizk és mtsai., 2023). A módszer nem helyettesíti a GC–MS vizsgálatokat, ugyanakkor

kiváló szűrő- és minőségellenőrző eszköz, mivel gyorsan képes jelezni a minták közötti különbségeket.

Az elektronikus orr napjainkban a fermentált takarmányok vizsgálatának egyik ígéretes, gyors és roncsolásmentes analitikai eszköze, amely alkalmas a fermentáció során kialakuló aromaprofilok objektív összehasonlítására és a különböző kezelések elkülönítésére. Jelentősége várhatóan tovább növekszik a fermentált takarmányok minőségértékelésében és a precíziós takarmányozási technológiák fejlesztésében.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Bendőbeli lebomlási (*in sacco*) és bendőfermentációs kísérlet juhokkal

4.1.1. Kísérleti beállítások

Az *in sacco* és bendőfermentációs kísérletek során a kísérleti csoport TMR-jében alkalmazott fermentált búza, extrahált szójadara és árpaszalma keverék hatását hasonlítottuk össze a kontroll csoport TMR-jével, amely a nem fermentált keveréket tartalmazta. A fermentált és nem fermentált keverékek összetételét, valamint táplálóanyag-tartalmát a 1. táblázat szemlélteti.

A fermentációt folyadékfázisú technológia alapján végeztük (Agrofeed Kft., Szalkszentmárton, Magyarország). Inokulumként a kereskedelmi forgalomban kapható RS-L Health készítményt alkalmaztuk (Addcon Europe GmbH, Bitterfeld-Wolfen, Németország). Az oltóanyag *Lactiplantibacillus plantarum* (DSM 3676) törzset $5,0 \times 10^7$ CFU/g koncentrációban, *Lactiplantibacillus plantarum* (DSM 3677) törzset szintén $5,0 \times 10^7$ CFU/g koncentrációban, valamint *Enterococcus faecium* (DSM 22502) törzset $1,0 \times 10^8$ CFU/g koncentrációban tartalmazott, így a teljes baktériumszám legalább $2,0 \times 10^8$ CFU/g volt. Az RS-L Health készítményből 100 g-ot 1 liter, 20 °C hőmérsékletű vízben oldottunk fel, majd a kapott szuszpenziót 48 órán keresztül, megközelítőleg 20 °C-on inkubáltuk. Az inkubációt követően a folyékony inokulumban legalább $8,0 \times 10^5$ CFU/g sejtszámot határoztunk meg. Egy liter előállított baktériumkultúra mintegy 15 tonna folyékony takarmány fermentálására is elegendő lehet, ami a gyakorlati felhasználás szempontjából fontos információ.

1. táblázat: A juhokon végzett bendőfermentációs és *in sacco* kísérletben alkalmazott nem fermentált és fermentált keverékek összetétele és táplálóanyag-tartalma

Összetétel (%)	K ¹	F ²
Víz	50	50
Árpa szalma	25	25
Búza	15	15
Extrahált szójadara (46% nyersfehérje)	10	10
RS-L Health ³	-	+
Összesen	100	100
Táplálóanyag-tartalom		
Szárazanyag (g/kg)	415,4	419,3
Nyersfehérje (g/kg sz.a.)	159,8	152,5
Nyerszsír (g/kg sz.a.)	18,10	16,00
Nyersrost (g/kg sz.a.)	264,9	294,9
NDF (g/kg sz.a.) ⁴	531,7	565,4
ADF (g/kg sz.a.) ⁵	322,7	345,7
Keményítő (g/kg sz.a.)	187,6	121,2
Cukor (g/kg sz.a.)	<12	<12

¹ K=kontroll keverék.

² F=kísérleti keverék.

³ Az RS-L Health (Addcon Europe GmbH, Bitterfeld-Wolfen, Németország) készítmény *Lactiplantibacillus plantarum* (DSM 3676) törzset $5,0 \times 10^7$ CFU/g, *Lactiplantibacillus plantarum* (DSM 3677) törzset szintén $5,0 \times 10^7$ CFU/g, valamint *Enterococcus faecium* (DSM 22502) törzset $1,0 \times 10^8$ CFU/g koncentrációban tartalmazott.

⁴ NDF=neutrális detergens rost.

⁵ ADF=savdetergens rost.

Az *in sacco* és bendőfermentációs vizsgálatok során a juhokkal a kísérleti elrendezésnek megfelelően kontroll, illetve kísérleti TMR-t etettük. Az emésztésélettani vizsgálatok során alkalmazott TMR-ek

összetételét és meghatározott táplálóanyag-tartalmát a 2. táblázat mutatja be.

2. táblázat: A bendőkanüllel ellátott juhokon végzett bendőfermentációs és *in sacco* kísérlet során alkalmazott takarmányadagok összetétele és meghatározott táplálóanyag-tartalma

Összetétel (kg)	K ¹	F ²
Kukorica siló	1,5	1,5
Lucerna pellet	0,48	0,48
Kereskedelmi koncentrátum ³	0,9	0,9
Víz	0,3	-
Árpa szalma	0,15	-
Búza	0,09	-
Extrahált szójadara	0,06	-
Fermentált keverék ⁴	-	0,6
Az adag elemzett táplálóanyagtartalma		
Száranyag (g/kg)	571,9	573,2
Nyersfehérje (g/kg sz.a.)	153,8	153
Nyerszsír (g/kg sz.a.)	31,1	30,4
Nyersrost (g/kg sz.a.)	195,2	198,9
NDF ⁵ (g/kg sz.a.)	390,4	393,7
ADF ⁶ (g/kg sz.a.)	241,1	243,9
Keményítő (g/kg sz.a.)	233,7	226,5
Cukor (g/kg sz.a.)	28,9	29,5

¹ K=kontroll takarmányadag, amely az 1. táblázatban ismertetett nem fermentált keveréket tartalmazza.

² F=fermentált takarmányadag, amely az 1. táblázatban ismertetett fermentált keveréket tartalmazza.

³ Kereskedelmi koncentrátum (Vitafort Kft., Dabas, Magyarország), összetétele: kukorica, árpa, búzatorpa, extrahált napraforgódara, mészkő, vitamin-ásványi premix, monokalcium-foszfát és karbamid.

⁴ Az 1. táblázatban ismertetett fermentált keverék (víz 50%, árpaszalma 25%, búza 15%, extrahált szójadara 10%).

⁵ NDF=neutrális detergens rost.

⁶ ADF=savdetergens rost.

Az ürület naponta kétszer, azonos mennyiségű TMR-rel etették, reggel 8:00 és délután 16:00 órákor. Az ivóvízhez és az ásványi anyagokat tartalmazó nyalósóhoz az állatok korlátlanul hozzáférhettek.

Az *in sacco* és bendőfermentációs vizsgálatokat tíz, 3–5 éves korú, 60–70 kg testtömegű (62 ± 8 kg), bendőkanüllel ellátott (1,5”, 6C; Bar Diamond Inc., Parma, ID, USA) magyar merinó ürű felhasználásával végeztük (1. ábra). A bendőkanül behelyezését és a kísérleti beavatkozásokat a Pest Vármegyei Kormányhivatal Élelmiszerlánc-biztonsági, Állategészségügyi, Növény- és Talajvédelmi Főosztálya hagyta jóvá (engedély száma: PE/EA/00060-2/2022; jóváhagyás dátuma: 2022. január 11.).

1. ábra: A kísérleti elrendezés bemutatása

Bendőfermentációs vizsgálat									
Bendőkanüllel ellátott juhok (n=10)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K ¹	K	K	K	K	F ²	F	F	F	F
17 nap (14 nap előetetés, 3 nap bendőfolyadék-mintavétel)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F	F	F	F	F	K	K	K	K	K
17 nap (14 nap előetetés, 3 nap bendőfolyadék-mintavétel)									
<i>In sacco</i> vizsgálat									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F	F	F	F	F	K	K	K	K	K
Incubációs idő 2, 4, 8, 16, 24, 48 és 72 órán keresztül									

¹ K=kontroll takarmányadag, amely az 1. táblázatban ismertetett nem fermentált keveréket tartalmazza.

² F=kísérleti takarmányadag, amely az 1. táblázatban ismertetett fermentált keveréket tartalmazza.

Vizsgálataink során a tíz bendőkanüllel ellátott ürűt véletlenszerűen két csoportba soroltuk. Az öt állatból álló kontroll csoportot nem fermentált

abrakkeveréket tartalmazó TMR-rel etettük, míg a kísérleti csoport öt állata fermentált abrakkeveréket tartalmazó TMR-t kapott.

A kéthetes adaptációs periódust egy háromnapos bendőfolyadékgyűjtési szakasz követte. Ezt követően a kezeléseket keresztezett elrendezésben felcseréltük: a korábban kontroll csoportba tartozó állatok a második kísérleti szakaszban fermentált keveréket tartalmazó takarmányt, míg a korábbi kísérleti csoport állatai kontroll takarmányt kaptak. Az ezt követő újabb kéthetes adaptációs időszak után ismét három egymást követő napon keresztül végeztünk bendőfolyadékmintavételt. A mintavételi periódus lezárását követően került sor az *in sacco* bendőbeli lebonthatósági vizsgálatok elvégzésére.

4.1.2. In sacco kísérlet

A bendőbeli lebonthatóság meghatározására napjainkban is széles körben elfogadott és alkalmazott módszer a Mehrez és Orskov (1977) által javasolt *in situ* (helyben) vagy más néven *in sacco* (zsákban) technika, melyre európai szinten is született egységesített metodikai irányelv. A hazai takarmányok lebonthatóságának becslését is jórészt e módszer segítségével állapították meg az elmúlt évtizedekben. Az eljárás alapja, hogy a takarmányt különböző ideig porózus zsákocskákban inkubálják a bendőkanüllel ellátott állatok bendőjében és azt vizsgálják, hogy az eltelt idő függvényében mennyi a még lebontatlan fehérje mennyisége a zsákocskákban. Az eredményeket az Orskov-McDonald modell alapján értékelik. A módszer alkalmas a potenciálisan lebontható táplálóanyag mennyiségének mérésére, a lebontás sebességének meghatározására és ezek alapján a bendőből való kiáramlási sebesség figyelembevételével kiszámítható az adott

táplálóanyag tényleges lebontása (ED) a bendőben. Az *in sacco* bendőbeli lebonthatósági vizsgálatok során az 1–5. sorszámú állatokban (F), amelyek fermentált keveréket tartalmazó TMR-t kaptak, a fermentált keveréket inkubáltuk a bendőben, míg a 6–10. sorszámú állatokban (K) a nem fermentált keverék *in sacco* lebonthatóságát vizsgáltuk.

Az inkubációt és a mintaelőkészítést Mehrez és Ørskov (1977) módszere alapján végeztük. A fermentált és nem fermentált mintákat szárítást követően őrltük és 2 mm-es szitán átszitáltuk, majd 3 g-os adagokat helyeztünk előzetesen mosott és szárított nylon zsákocskákba (75 × 150 mm; 40 µm pórusméret). A zsákocskákat kötözővel lezártuk, és a bendőkanül dugójához rögzített öntöttvas gyűrűhöz erősítettük. Az inkubációs idősor hét időpontból állt: 2, 4, 8, 16, 24, 48 és 72 óra. Mintánként és időpontonként 20 zsákocskát használtunk (2 zsákocska × 2 ismétlés × 5 állat). A bendőbeli inkubációt követően a zsákocskákat 35 °C-os meleg csapvízzel öblítettük a bendőtartalom eltávolítása érdekében, majd folyó víz alatt kézzel, kíméletes dörzsöléssel mostuk addig, amíg a mosóvíz tisztává nem vált. A bendőbe helyezett mintákon kívül egy úgynevezett 0 órás mintát is alkalmaztunk, amelyben a takarmányt bendőbeli inkubáció nélkül, kizárólag csapvízzel öblítettük át. Ez azért fontos, mert megmutatja a vízben való kioldódást, ami nem a mikrobiális bontás következtében megy végbe. A 0 órás mintát az inkubált zsákocskák azonos módon történő kezelésével határoztuk meg. A zsákocskákat ezt követően 60 °C-on, szárítószekrényben 48 órán keresztül szárítottuk. Lehűtést követően exsikkátorban tároltuk, majd meghatároztuk a visszamaradt szárazanyag tömegét. A maradékokat

finomra őröltük és 1 mm-es szitán átszitáltuk szárazanyag, nyersfehérje és NDF tartalom meghatározása céljából.

Az adott inkubációs idő függvényében a lebomlott nyersfehérje mennyiségének kiszámítására az alábbi képletet alkalmaztuk:

$$\text{Lebomlott fehérje} = 100 \times \frac{\text{zsákocskába betett fehérjemennyiség} - \text{takarmánymaradékban lévő fehérjemennyiség}}{\text{zsákocskába betett fehérjemennyisége}}$$

Hasonló módon történt a szárazanyag és az NDF esetében is a számolás.

A lebomlási folyamatokat Ørskov és McDonald (1979) elsőrendű kinetikai modellje alapján írtuk le:

$$P = a + b (1 - e^{ct})$$

ahol:

P = potenciális lebonthatóság (%) az adott t időpontban,

a = az inkubáció kezdetén (0. időpont) a zsákocskából kimosódó oldható frakció (%),

b = potenciálisan bendőben lebomló frakció (%),

c = a b frakció lebomlási sebességi állandója (%/óra),

t = inkubációs idő (2, 4, 8, 16, 24, 48 és 72 óra).

A szárazanyag, nyersfehérje és NDF tényleges bendőbeli lebonthatóságát Ørskov és McDonald (1979) módszere alapján számítottuk:

$$ED = a + [(b \times c) / (k + c)]$$

ahol k a bendőbeli kiürülési ráta, amelyet 5%/óra vagy 8%/óra értéken vettünk figyelembe, míg a , b és c a fentiekben meghatározott paramétereket jelölik.

Az NDF lebomlási kinetikáját a Mertens és Loften (1980) által leírt L–T modell alkalmazásával értékeltük:

$$R = D_0 \times e^{-k(t-L)} + U$$

R = nem lebomlott NDF maradék az egyes inkubációs időpontokban,

k = a sejtfal lebomlási sebessége,

D_0 = a lebomló NDF (sejtfal) frakció az egyes inkubációs időpontokban,

U = a nem lebomló NDF (sejtfal) maradék a 72 órás inkubációt követően,

t = inkubációs idő.

A késleltetési időt (L =lag time) az alábbiak szerint számítottuk:

$$L = (\ln D_0 - \ln D) / -k$$

ahol D az inkubációs idő és a lebomló NDF természetes logaritmusai közötti regressziós kapcsolatból származtatott konstans.

4.1.4. Kémiai vizsgálatok

A kémiai vizsgálatok során meghatároztuk a vizsgált keverékek szárazanyag-, nyersfehérje-, nyersrost-, nyerszsír-, keményítő- és össz cukor-tartalmát. Az analitikai meghatározásokat az AOAC (2012) módszerei szerint végeztük. Ezen túlmenően az NDF- és ADF-tartalmat

Van Soest és mtsai. (1991) módszere alapján határoztuk meg. A keverékek meghatározott táplálóanyag-összetételét a 2. táblázat foglalja össze.

4.1.3. Bendőfermentációs kísérlet

A bendőfermentációs vizsgálatot két egymást követő szakaszban végeztük (14 napos adaptációs és 3 napos bendőfolyadék-mintavételi periódus, 1. ábra), annak vizsgálatára, hogy a fermentált keveréket tartalmazó TMR milyen hatást gyakorol a bendőfolyadék egyes paramétereire (pH, $\text{NH}_3\text{-N}$ -koncentráció és illózsírsav-profil). A bendőfolyadék-mintákat (100 ml) a bendő ventrális zsákjából vettük a bendőkanülön keresztül három időpontban: közvetlenül a reggeli etetés előtt, valamint az etetést követően 3 és 6 órával. A mintavételt követően az egyes minták pH-értékét azonnal meghatároztuk Metrohm 744 típusú digitális pH-mérővel (Metrohm AG, Herisau, Svájc), majd a mintákat négyrétegű gézen átszűrtük. A szűrt mintákat ezt követően $2500 \times g$ centrifugális erővel 15 percig centrifugáltuk. A kapott felülúszót ammónia- és illózsírsav vizsgálatokhoz használtuk.

Az ammóniakoncentráció meghatározása a Weatherburn (1967) által leírt kolorimetriás módszerrel történt, az abszorbancia mérését Helios Alpha UV–Vis spektrofotométerrel (Thermo Spectronic, Cambridge, Egyesült Királyság) végeztük.

Az illózsírsavak meghatározásához 2,5 ml bendőfolyadékot 0,5 ml 25%-os vizes metafoszforsav-oldattal, valamint 0,3 ml 2-etil-vajsav oldattal (150,8 mg/100 ml) kevertünk össze belső standardként. Homogenizálást és centrifugálást követően 1 ml felülúszót kémcsőbe vittünk át. Az illózsírsav-koncentrációk meghatározása GC-MS

QP2010 SE rendszerrel (Shimadzu Co., Kiotó, Japán) történt. A hőmérsékleti program 75 °C-ról 110 °C-ra emelkedett 10 °C/perc sebességgel, majd 110 °C-ról 140 °C-ra 2,5 °C/perc sebességgel. Az alkalmazott oszlop Zebron ZB-WAX típusú volt (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm; Phenomenex, Torrance, CA, USA). A befecskendezett minta térfogata 0,5 µl volt, a befecskendezési hőmérsékletet 235 °C-ra állítottuk be, splitless módban. Hordozógázként héliumot alkalmaztunk, lineáris áramlásszabályozás (55,4 kPa) mellett. Az oszlopáramlás 0,91 ml/perc, a lineáris sebesség 35 cm/s volt. Az egyes illózsírsavakat a retenciós idők standardokkal történő összehasonlítása alapján azonosítottuk, és a mennyiségi meghatározást a belső standardhoz viszonyítva végeztük.

4.2. Bendőbeli lebonthatóság (*in sacco*) és bendőfermentációs kísérlet szarvasmarhákkal

4.2.1. Kísérleti elrendezés

A kísérletet két, holstein–fríz fajtájú szarvasmarhával (650 kg) végeztük, amelyek a bendő dorzális zsákjába beültetett Bar Diamond típusú szilikon bendőkanüllel rendelkeztek, amely lehetővé tette az *in sacco* és bendőfermentációs vizsgálatok elvégzését. A kísérletet a Győr-Moson-Sopron Vármegyei Kormányhivatal Élelmiszerlánc-biztonsági, Állategészségügyi, Növény- és Talajvédelmi Főosztálya előzetesen engedélyezte (engedélyszám: 691-01/00965-2/2018 szarvasmarha). Az állatok tartása és kezelése a kísérlet teljes időtartama alatt a jó állattartási gyakorlatnak megfelelően történt.

Az *in sacco* és bendőfermentációs vizsgálatokban a 3. táblázatban bemutatott összetételű és táplálóanyag-tartalmú kontroll és fermentált takarmányokat értékeltük. Az *in sacco* és bendőfermentációs vizsgálatokat mindkét takarmánnyal, két ismételtsben végeztük el.

3. táblázat: A vizsgált takarmányok összetétele és táplálóanyag-tartalma a szarvasmarhákkal végzett kísérletben

Összetétel (%)	K ¹	F ²
Búzadara	25,8	-
Korpa	2,7	-
Szójadara	18,7	-
Kukorica csutkaliszt	52,8	25%
Fermentum (fermentált búza-korpa-szójadara)	-	75%
Összesen	100	100

A takarmányadag táplálóanyag-tartalma
(számított adatok)

Szárazanyag (g/kg takarmány)	874,2	393,4
Nyersfehérje (g/kg sz.a.)	290,1	144,6
Nyerszsír (g/kg sz.a.)	28,7	13,5
Nyersrost (g/kg sz.a.)	49,8	222,6
Nyershamu (g/kg sz.a.)	39,9	49,3
NDF ³ (g/kg sz.a.)	563,4	582
ADF ⁴ (g/kg sz.a.)	282,1	292,4
N.m.k.a. (g/kg sz.a.)	591,5	570
Ca (g/kg sz.a.)	0,6	3,8
P (g/kg sz.a.)	3,9	11,7

¹ K=kontroll keverék.

² F=fermentált keverék.

³ NDF=neutrális detergens rost.

⁴ ADF=savdetergens rost.

Az állatok takarmányozása naponta kétszer, reggel 7.00 és délután 13.00 órakor történt, a 4. táblázatban ismertetett, azonos mennyiségű

takarmányadaggal. Az ivóvíz és a nyalósó *ad libitum* állt az állatok rendelkezésére.

4. táblázat: Az *in sacco* kísérlet során a szarvasmarhákkaal etetett takarmányadag összetétele és táplálóanyag-tartalma

Összetétel	
Réti széna (kg)	8
Abrakkeverék (kg)	3
<i>melyből</i>	
Kukorica	93,50%
Extrahált napraforgó	4,00%
Takarmánymész	1,50%
Só	0,50%
Növendékmarha vitamin és mikroelem premix	0,50%
A takarmányadag táplálóanyag-, illetve energiatartalma (számított értékek)	
Szárazanyag (%)	89,0
NE _m ¹ (MJ/kg sz.a.)	47,9
NE _g ² (MJ/kg sz.a.)	26,3
NE _l ³ (MJ/kg sz.a.)	53,5
MFE ⁴ (g/kg sz.a.)	720,9
MFN ⁵ (g/kg sz.a.)	487,8
Ca (g/kg sz.a.)	23,9
P (g/kg sz.a.)	20,9

¹ NE_m=életfenntartás nettó energiája.

² NE_g=súlygyarapodás nettó energiája.

³ NE_l=tejtermelés nettó energiája.

⁴ MFE=energiafüggő metabolizálható fehérje.

⁵ MFN=nitrogénfüggő metabolizálható fehérje.

A kísérleti kezeléshez készített fermentum szárazanyag-tartalma 26% volt. Ezen belül 14,3% volt a búza aránya, 10,4% a szójadaráé és 1,3% a búzakupáé. A folyékony közegű modellfermentálást az LSF technológia alapján az Agrofeed Kft. szalkszentmártoni fermentáló üzemében végeztük el. Oltókultúraként az ADDCON EUROPE Gmbh (Bitterfeld-Wolfen, Németország) által gyártott, és a Dr. FERM Kft. (Budapest, Magyarország) által forgalmazott, „RS-L Health” nevű, kereskedelmi forgalomban lévő premixet választottuk. Az oltóanyag összetétele: *Lactobacillus plantarum* (DSM 3676) 5×10^7 CFU/g, *Lactobacillus plantarum* (DSM 3677) 5×10^7 CFU/g, *Enterococcus faecium* (DSM 22502) 1×10^8 CFU/g.

4.2.2. In sacco kísérlet

A bendőbeli lebonthatóság meghatározását a 4.2.5. fejezetben ismertetett *in sacco* módszer szerint végeztük. A fermentált és nem fermentált takarmányokból zsákocskánként 5 g mintát mértünk be, majd a lebontási paramétereket a hazai gyakorlatnak megfelelően 5% és 8%/óra bendőből való kiáramlási sebességre vonatkoztatva számítottuk ki.

A takarmány szárazanyag-, nyersfehérje-, nyersrost- és NDF-tartalmának bendőbeli lebonthatóságát a juhoktól eltérően 2, 4, 8, 16, 24 és 48 órás inkubációs idők alkalmazásával határoztuk meg.

Az eltérő inkubációs időpontokban mért lebonthatósági adatokból a lebomlási folyamatok jellemzésére a szárazanyag, a nyersfehérje és az NDF tényleges bendőbeli lebonthatóságát a 4.2.5. fejezetben ismertetett módszertan alapján határoztuk meg.

Mivel a zsákocskák porozításánál (30-50 μ) kisebb takarmányrészecskék távozása is növeli a mért fehérje-lebonthatóságot, a hazai értékelési rendszerben a takarmányfehérje lebonthatóságát a fenti képlettel meghatározott lebonthatóság 95%-ának tekintjük.

4.2.3. Bendőfermentációs kísérlet

A bendőfermentációs vizsgálat egy kontroll-, valamint két egymást követő kísérleti periódusból állt, amelyet 14 napos adaptációs szakasz előzött meg. A kontroll periódust követően az első kísérleti periódusban a napi 3 kg abrakkeverékből 1 kg-ot, a második kísérleti periódusban 2 kg-ot helyettesítettünk fermentált takarmánykeverékkel..

A vizsgálat célja annak meghatározása volt, hogy a különböző dózisu fermentált takarmány etetése milyen hatást gyakorol a bendőfermentáció főbb paramétereire, különös tekintettel a bendőfolyadék pH-értékére, mikrobiális aktivitására, ammónia- és illózsírsav-koncentrációjára.

A bendőfolyadékból mintavételenként 100 ml mintát vettünk a bendő dorsalis zsákjából, a bendőkanülön keresztül. A mintavétel minden periódusban három különböző napon történt. Az egyes mintavételi napokon a bendőfolyadékot három időpontban vettük: közvetlenül a reggeli etetés előtt, valamint az etetést követő 3. és 6. órában. A minták pH-értékét ADWA AD8000 típusú pH-mérővel, valamint mikrobiális aktivitását közvetlenül a mintavételt követően határoztuk meg.

A bendőfolyadék mikrobiális aktivitását Horváth (1979) módszere alapján nitritredukciós próbával vizsgáltuk. A vizsgálathoz 0,025%-os kálium-nitrit (KNO_2) oldatból 0,2; 0,5 és 0,7 ml-t adagoltunk 10 ml bendőfolyadékhoz. Reagensként α -naftil-amint alkalmaztunk. A

bendőmikrobák aktivitását a nitrit redukciójához szükséges idő alapján értékeltük.

A bendőfolyadék ammónia-nitrogén ($\text{NH}_3\text{-N}$) koncentrációját a Berthelot-reakción alapuló kolorimetriás módszerrel határoztuk meg. A bendőfolyadék-szűrletet 10%-os triklór-ecetsavval (TCA) fehérjementesítettük, majd 10 percig 10 000 fordulat/perc centrifugális gyorsulással centrifugáltuk. A felülúszót a mérésig $-20\text{ }^\circ\text{C}$ -on tároltuk. A meghatározás során a mintákhoz fenol- és hipoklorit-reagenst adtunk, majd 30 percig $37\text{ }^\circ\text{C}$ -on inkubáltuk. Az ammónia jelenlétében kialakuló kék szín intenzitását Hitachi U-2910 spektrofotométerrel mértük, a koncentrációt ammónium-standard görbe alapján számítottuk ki.

Az illózsírsavak meghatározásához 2,5 ml bendőszűrlethez 0,5 ml 25%-os metafoszforsavat (HPO_3) adtunk a fehérjék kicsapása érdekében. A mintákat óvatosan összekevertük, 10 percig állni hagytuk, majd 10 percig 10 000 fordulat/perc (rpm) sebességgel centrifugáltuk. A centrifugálást követően a felülúszóból 250 μl -t vettünk, amelyhez 100 μl 2-etil-vajsavat (belső standard) és 650 μl 4,2%-os metafoszforsavat (HPO_3) adtunk. Az előkészített minták illózsírsav-koncentrációját HPLC-UV rendszerrel (Jasco 900 Series), Bio-Rad Aminex HPX-87H oszlop alkalmazásával, $50\text{ }^\circ\text{C}$ oszlophőmérsékleten, 0,005 M kénsavat eluensként használva határoztuk meg.

4.2.4. Kémiai összetétel vizsgálata

A kísérletben vizsgált takarmányok eredeti és *in sacco* vizsgálat utáni összetételét a Magyar Takarmánykódexben (1990) szereplő módszerekkel vizsgáltuk az alábbiak szerint.

A nedvességtartalom meghatározása MSZ ISO 6469:2001 szabvány szerint történt. A mintát 105 °C-os szárítószekrényben súlyállandóságig (4 óra) szárítottuk. A szárítási tömegveszteség adta a minta nedvességtartalmát.

A nyershamu-tartalom meghatározása MSZ ISO 5984:1992 szabvány szerint történt. A mintát 550 °C-on hamvasztjuk. A hamvasztási tömegveszteség az így keletkezett minta hamutartalma.

A nyersfehérje-tartalom meghatározására DUMAS-féle égetéses módszerrel működő rapid N Cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Németország) nitrogén meghatározó analizátort használtuk. Minden mintát három párhuzamos mérésben vizsgáltunk. A száraz mintákból analitikai mérlegen ónfóliából elkészített tölcserbe 100±0,001 mg mennyiséget mértünk, majd ezekből kapszulákat készítettünk. A kapszulákat egy erre kialakított préselővel meg is kellett erősíteni. Az elkészült kapszulákat elhelyeztük a műszer mintatartó részében, majd a szekvencia megírását követően elindítható a mérés. A mérés lényege, hogy a kapszulákat magas hőmérsékleten, nagyjából 900 °C-on oxidálja a műszer, majd feltárja. A keletkezett gázok egy katalizátorba jutnak, majd a tökéletes égés során a nehezen oxidálható kémiai kötések is felbomlanak. A tökéletes égés során nitrogén-oxidok keletkeznek, melyek nitrogénné redukálódva a detektorba jutnak és elektromos jelet adnak. Az előzetes kalibráció segítségével a N-tartalom mérhető és számolható. A műszer %-ban fejezi ki az elégetett kapszulák nitrogén térfogatát, melyből a minta fehérje tartalma %-ban számolható a következőképpen:

Fehérje (%) = $N \times 6,25$, ahol N=az elégetett N-térfogatrész

Mivel a nyersfehérjék N-tartalma átlagosan 16% körül mozog, így a bemért $100 \pm 0,001$ mg 16%-a is 6,25-tel szorzandó (Sváb, 2008).

A nyerszsír-tartalom meghatározását a 44/2003 (IV.26.) FVM rendelet 10. számú melléklet XI. módszerével, Soxhlet-extrakcióval végeztük, melyhez a mintát hexánnal extraháltuk, azaz így nyertük ki belőle a zsírokat.

A nyersrost-tartalmat a 44/2003 (IV.26.) FVM rendelet 10. számú melléklet XII. módszere (MSZ 6830-7) szerint határoztuk meg. A mintát forró híg kénsavval, majd káliumhidroxid oldattal kezeltük. A maradék mosás és szárítás utáni 550°C -on történő elhamvasztása után a súlyvesztéséből határoztuk meg a nyersrost-tartalmat.

Az NDF-, az ADF- valamint az ADL-tartalom meghatározásához a Magyar Takarmánykódex 1990. II. 8.2. fejezetében ismertetett módszereket alkalmaztuk. Az NDF meghatározása során a mintát semleges detergens oldattal főzik, szűrik, mossák, szárítják majd hamvasztják. A hamvasztási veszteség tömege a neutrális detergens rost. Az ADF-tartalom meghatározásakor a mintát sav detergens oldattal kezelik majd szintén szűrés, mosás, szárítás után hamvasztják. A hamvasztási veszteség tömege a sav detergens rost. A sav detergens lignin (ADL) mérésekor a mintát először sav detergens oldattal főzik, majd a cellulóz eltávolításához 72 %-os kénsav oldattal hidegen extrahálják. Ismét szűrés, mosás és szárítás után lemérik a sav detergens lignin (ADL) mennyiségét.

4.3. Tejelő tehenekkel végzett üzemi vizsgálat

4.3.1. Kísérleti állatok

A kísérletet a Dózsa Mg. Zrt. tassi szarvasmarha-telepén (895 db holstein-fríz tejelő tehén, 35 kg átlagos tejtermelés) végeztük el. A vizsgálatba többször ellett, korai laktációs stádiumban lévő holstein-fríz teheneket vontunk be (laktációs napok száma < 100; átlagos tejtermelés > 40 kg/tehén/nap).

A kísérleti időszak 56 napig tartott, amely 14 napos takarmányozási adaptációs szakaszból, valamint 42 napos adat- és mintagyűjtési periódusból állt. A vizsgálat során az ún. tehénpáros módszert alkalmaztuk, összesen 48 állattal. A tehénpárokat paritás, az utolsó ellés időpontja, az előző laktációs tejtermelés, a legutóbbi ellenőrző fejés adatai, valamint a tejösszetétel (fehérje- és zsírtartalom) alapján alakítottuk ki (5. táblázat).

5. táblázat: A kialakított tehénpárok jellemző adatai

	K ¹	F ²
Laktációs napok száma	90	104
Ellésszám	2,88	2,82
Utolsó próbafejés tejtermelés (kg)	42,34	42,22
Utolsó próbafejés zsír (%)	4,69	4,73
Utolsó próbafejés fehérje (%)	3,43	3,45
Utolsó laktáció (tej kg)	10786	11099
Utolsó laktáció zsír (%)	4,86	4,79
Utolsó laktáció fehérje (%)	3,49	3,48
Maximum laktációs tejtermelés (kg)	11028	11235

¹ K=kontroll takarmány.

² F=fermentált takarmány.

4.3.2. Takarmányozás a vizsgálat alatt

A vizsgálatba bevont 48 tehenet két kezelési csoportba (n = 24/csoport) osztottuk, és kontroll (fermentált abrakot nem tartalmazó), illetve

kísérleti (fermentált abrakot tartalmazó) TMR-ekkel etették. A kontroll és kísérleti csoportba tartozó állatokat azonos istállón belül, elkülönített csoportokban helyeztük el. A TMR, az ivóvíz és az ásványi anyagokat tartalmazó nyalósó korlátlanul állt az állatok rendelkezésére.

A takarmányt naponta kétszer, reggel 5:30-kor és este 18:30-kor juttattuk ki. A kiosztott TMR mennyiségét a várható szárazanyag-felvétel 105–110%-ára állítottuk be. Az etetőasztalt minden nap, a reggeli etetést megelőzően megtisztítottuk. A szárazanyag-felvétel egyedi szinten történő meghatározására nem volt lehetőség, mivel az üzemi körülmények nem tették lehetővé az egyedi takarmányfelvétel mérését.

A takarmányozási kísérlet során alkalmazott abrak-keverék kukoricából, búzából, extrahált repcedarából és extrahált napraforgódarából állt. A fermentált abrak-keveréket az Agrofeed Kft. (Szalkszentmárton) állította elő, ugyanazon starterkultúra (RS-L Health; Dr. Ferm Kft., Budapest) felhasználásával, amelyet a bendőkanüllel ellátott juhokon és szarvasmarhákön végzett *in sacco* és bendőfermentációs vizsgálatok során is alkalmaztunk. A teljes baktériumszám legalább $2,0 \times 10^8$ CFU/g volt. A fermentált alapanyagot a telephelyen IBC tartályokban tároltuk. A kontroll és a fermentált abrak-keverék összetételét és számított táplálóanyag értékeit a 6. táblázat tartalmazza.

A kontroll csoportba tartozó tehenek a TMR-ben nem fermentált abrak-keveréket fogyasztottak, amely a teljes takarmány szárazanyag-tartalmának 31,55%-át tette ki. A kísérleti csoport TMR-je 28,23% nem fermentált, valamint 3,32% fermentált abrak-keveréket tartalmazott a szárazanyag arányában.

6. táblázat: A tejelő teheneken végzett üzemi vizsgálat során alkalmazott TMR-ben felhasznált abrak-keverékek összetétele és számított táplálóanyag-tartalma

Összetétel (%)	K ¹	F ²
Víz	-	66,7
Kukorica	25	8,3
Búza	45	15
Extrahált repcedara	22	7,3
Extrahált napraforgódara	8	2,7
Összesen	100	100
Számított táplálóanyag-tartalom		
Szárazanyag (g/kg)	883,3	294,7
Nyersfehérje (g/kg sz.a.)	189,6	189,4
Nyerszsír (g/kg sz.a.)	25,8	25,8
Nyersrost (g/kg sz.a.)	66,3	66,2
NDF ³ (g/kg sz.a.)	167,9	167,7
ADF ⁴ (g/kg sz.a.)	95,9	95,8
Keményítő (g/kg sz.a.)	476,1	475,6
Cukor (g/kg sz.a.)	61,4	61,4

¹ K=kontroll, nem fermentált-abrak- keverék.

² F=fermentált abrak-keverék, melyet az Agrofeed Kft. (Szalkszentmárton, Magyarország) állított elő, ugyanazzal a starter kultúrával (RS-L Health, forgalmazza. a Dr. Ferm Kft., Budapest), amelyet a kanulált juhokkal végzett kísérletben is használtak. A teljes baktériumszám $\geq 2,0 \times 10^8$ CFU/g volt.

³ NDF=neutrális detergens rost.

⁴ ADF=savdetergens rost.

Az etetett komplett takarmánykeverék (TMR) %-os összetételét, valamint azok vizsgált kémiai összetételét és számított energiatartalmát a 7. táblázat mutatja be.

7. táblázat: Az üzemi vizsgálatban használt TMR összetétele, elemzett táplálóanyagtartalma és számított energiatartalma

Összetétel % a szárazanyagban	K- TMR¹	F-TMR²
Nem fermentált kontroll abrak-keverék ³	31,55	28,23
Fermentált abrak-keverék ³	-	3,32
Tejelőtehen koncentrátum ⁴	12,23	12,23
Kukoricaszilázs	25,85	25,85
Fűszilázs	8,59	8,59
Lucernaszilázs	7,69	7,69
Árpaszalma	0,99	0,99
Nedves kukoricadara	10,66	10,66
Melasz	2,44	2,44
Összesen	100	100
Szárazanyag-felvétel (kg/nap)	26,53	26,54

¹ K-TMR=nem fermentált kontroll abrak-keveréket tartalmazó TMR.

² F-TMR=fermentált abrak-keveréket tartalmazó TMR.

³ Az abrak-keverékek részletes összetételét a 6. táblázat tartalmazza.

⁴ Tejelőtehen koncentrátum összetétele: szójadara, kukorica DDGS, Soypass®, mészke, hidrogénezett zsír (Vivafat; Schils B.V., Sittard, Hollandia), árpa, nátrium-hidrogén-karbonát, NaCl, magnézium-oxid, repceolaj, búzadara, karbamid és vitamin-ásványi premix. Gyártó: Agrofeed Kft. (Győr, Magyarország).

A kontroll és kísérleti komplett takarmánykeveréket közvetlenül etetés előtt, takarmánykeverő kocsiban homogenizáltuk. A fermentált abrak-keveréket felhasználás előtt alaposan homogenizáltuk, majd végső komponensként adagoltuk közvetlenül az RMH típusú takarmánykeverő berendezésbe (forgalmazó: AXIÁL Kft., Baja, Magyarország). A fermentált abrak-keverék egyenletes eloszlását a TMR-ben csigás keverőszerkezet biztosította.

A takarmányozási kísérlet során a teheneket olyan TMR-rel etettük, amelyet egy 655 kg testtömegű, napi 40 kg feletti tejtermelésű, 4,0%

zsírtartalmú és 3,1% fehérjetartalmú tehenek táplálóanyagigényének felel meg (NASEM, 2021).

4.3.3. Mintavételi és analitikai eljárások

A mintavételi és analitikai eljárások során a tejtermelést minden fejés alkalmával automatikusan rögzítettük. A teheneket naponta kétszer fejtük, megközelítőleg 4:00 és 17:00 órakor, egy SAC típusú, 28 állásos karusszal rendszerű fejőberendezésben (A/S S.A. Christensen és Co., Dánia).

A hathetes vizsgálati periódus alatt minden egyes állattól négy alkalommal (a 14., 28., 42. és 56. napon) a délutáni fejésből vettünk tejmintát. A mintavétel napján a mintákat 0,02% Bronopol (2-bróm-2-nitro-1,3-propándiol) hozzáadásával tartósítottuk, majd 4 °C-on tároltuk, és egy napon belül laboratóriumba szállítottuk a tej összetételének (zsír-, fehérje- és laktóztartalom), a szomatikus sejtszámnak (SCC), valamint a karbamid-koncentrációnak a meghatározása céljából. A tejhozamot a teljes vizsgálati időszak alatt minden fejés során rögzítettük.

A tej összetételét Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával (FT-IR) határoztuk meg, míg a szomatikus sejtszámot áramlási citometriás módszerrel mértük.

A 3,5%-os zsírtartalomra korrigált tejhozamot (FCM), valamint az energiatartalomra korrigált tejhozamot (ECM) a tejtermelés és a tejkomponensek koncentrációja alapján számítottuk (Western és mtsai., 2020), az alábbi összefüggések szerint:

$$3,5\% \text{ FCM} = (0,4324 \times \text{tejhozam, kg}) + (16,216 \times \text{tejzsír, kg})$$

$$\text{ECM} = (0,327 \times \text{tejhozam, kg}) + (12,95 \times \text{tejzsír, kg}) + (7,20 \times \text{tejfehérje, kg})$$

A tejmintavételi napokon mindkét kísérleti csoportból friss TMR-mintákat is gyűjtöttünk kémiai analízis céljából. A mintákat $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on tároltuk a vizsgálatok elvégzéséig. Az egyes mintákat $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, kényszerlevegős szárítószekrényben 48 órán keresztül szárítottuk a szárazanyag-tartalom meghatározása érdekében. A TMR-ek szárazanyag-, nyersfehérje-, nyerszsír-, nyersrost-, keményítő- és cukortartalmát az AOAC (2012) módszerei szerint határoztuk meg, míg az NDF- és ADF-tartalmat Van Soest és mtsai. (1991) módszere alapján elemeztük.

4.4. Elektronikus orr alkalmazása a takarmányok minősítésében

A fermentációs kísérlet során hat különböző kezelést alakítottunk ki, amelyeket három ismétlésben állítottunk elő. Az alapkeverék valamennyi kezelésben azonos összetételű volt: 135–135 g napraforgódarát, búzát, repcedarát, valamint 135 g DDGS-t (Distillers Dried Grains with Solubles) vagy kukoricaglutén-takarmányt (CGF, Corn Gluten Feed) tartalmazott. A fermentációhoz minden esetben 1620 ml folyékony közeget adagoltunk, amely a kezeléstől függően ivóvíz vagy natúr mozzarella sajtsavó volt.

A kísérlethez felhasznált takarmány-alapanyagokat (napraforgódara, búza, repcedara, DDGS és CGF) több különböző hazai gyártótól szereztük be. A kezelések közötti különbséget a felhasznált fő szubsztrát (DDGS vagy CGF), a fermentációs közeg (víz vagy tejsavó), valamint az alkalmazott inokulum típusa jelentette. A vizes

kezelésekben két különböző starterkultúrát alkalmaztunk: az RS-L Health (Addcon Europe GmbH, Bitterfeld-Wolfen, Németország) készítményt, illetve egy *Lactiplantibacillus plantarum* és *Pediococcus acidilactici* törzseket tartalmazó inokulumot. A tejsavóval készített kezelésekben külön mikrobiális inokulumot nem alkalmaztunk, mivel a fermentációt a sajt savó természetes mikrobiotája biztosította.

8. táblázat: A különböző kezelések paraméterei

Kezelések	DDGS- V-R	DDGS- V-LP	DDGS- T	CGF- V-R	CGF- V-LP	CGF- T
Ismétlések	F1 F2 F3	F4 F5 F6	F7 F8 F9	F10 F11 F12	F13 F14 F15	F16 F17 F18
Napraforgó	+	+	+	+	+	+
Búza	+	+	+	+	+	+
Repce	+	+	+	+	+	+
DDGS	+	+	+			
CGF				+	+	+
Víz	+	+		+	+	
Tejsavó			+			+
R ¹	+			+		
LP ²		+			+	

¹ R=RSL-Health (dr. Ferm) inokulum.

² LP=*Lactiplantibacillus plantarum*, és *Pediococcus acidilactici* fajokat tartalmazó inokulum.

A kezelések elnevezése a fő szubsztrát, a fermentációs közeg és az alkalmazott inokulum kombinációját tükrözi. Ennek megfelelően a DDGS-V-R, DDGS-V-LP, DDGS-T, CGF-V-R, CGF-V-LP és CGF-T

kezeléseket különböztettük meg. A kezelések részletes összetételét és a mintakódok hozzárendelését a 8. táblázat tartalmazza.

A modell fermentálási kísérleteket a Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar Élelmiszertudományi Tanszékén végeztük. A fermentációs folyamatokat egy Solaris Jupiter 6.5” típusú, 4,5 L munkatérfogatú fermentorban valósítottuk meg, míg a működési paraméterek folyamatos monitorozása és szabályozása a berendezéshez kapcsolt Leonardo vezérlőszoftver segítségével történt. Az alapanyagok pasztörözése során a fermentálandó komponensek kimérését követően azokat kis mennyiségű víz hozzáadásával előfőztük. A hőkezelést folyamatos keverés mellett végeztük, miközben a hőmérsékletet digitális hőmérő segítségével folyamatosan monitoroztuk. A hőntartás 20 percen keresztül, 50 ± 5 °C-on történt. Az előfőzést követően a végső szárazanyag-tartalom beállításához szükséges vízmennyiséget, valamint a párolgási veszteséget (kb. 500–550 cm³) 5 ± 3 °C hőmérsékletű steril vízzel pótoltuk, amely egyúttal a keveréket 37 ± 1 °C-ra hűtötte vissza. A visszahűtött szuszpenziót ezt követően a fermentor reaktorába töltöttük, ahol a hőmérsékletet 37 ± 1 °C-ra, a keverési sebességet pedig 700 ± 1 min⁻¹ értékre állítottuk be. A fermentációt batch rendszerben, 24 órán keresztül végeztük. A folyamat végén a fermentumból 100 cm³ mintát vettünk az elektronikus orr vizsgálatokhoz, majd azt fagyasztással tartósítottuk.

Az aromaprofil meghatározását Alpha MOS Heracles Neo-nose (gyártó: Alpha Mos SA, Toulouse, Franciaország) készülékkel végeztük. Az illékony szerves vegyületek (VOC-ok) elemzését egy automatikus mintavevővel, két lángionizációs detektorral (FID-1 és FID-2), csapdarendszerrel, valamint két párhuzamos kapilláris

oszloppal (Restek MXT-5 és MXT-1701; 10 m) felszerelt ultragyors gázkromatográfval végeztük. A vizsgálatok során a 20 ml-es, teflonbevonatú mágneses kupakkal lezárt fiolák gőztéréből vett mintát elemeztük. A mintákat mérés előtt 50 °C-on 5 percig inkubáltuk, majd a kialakult gőztérből 60 °C-ra temperált Hamilton fecskendővel 1 ml gázmintát vettünk, amelyet a készülékbe injektáltunk. Minden mintát három ismételtsben analizáltunk. A vivőgáz hidrogén volt, 30 ml/perc áramlási sebességgel. A csapda hőmérsékletét 40 °C-on tartottuk, míg a kemence hőmérséklete 50 °C-ról 250 °C-ra emelkedett 2 °C/s felfűtési sebességgel. Az adatgyűjtés 110 másodpercig tartott, 0,01 s mintavételi időközszel, a mintagáz befecskendezési sebessége pedig 125 µl/s volt.

4.5. Statisztikai értékelés

Az *in sacco* és bendőfermentációs vizsgálatok során kapott adatok statisztikai elemzését az SPSS 26.0. (IBM, Armonk, NY) programot használtuk. A vizsgált paraméterek esetében a számtani átlagot, az átlagok standard hibáját (SEM) a kezeléseknél (kontroll, fermentált) kiszámítottuk. Az adatok eloszlásának normalitását a Kolmogorov-Smirnov teszttel ellenőriztük.

A juhokkal végzett modellkísérletben a kezelések számának megfelelően (kontroll, kísérleti) a két csoportot az adatok eloszlásától függően kétmintás t-próbával vagy Mann-Whitney teszttel értékeltük.

A szarvasmarhákval végzett modellkísérletben egytényezős varianciaanalízist végeztünk, illetve a bendőfermentációs vizsgálatoknál többtényezős varianciaanalízissel a takarmányozási

kezelés és a mintavételi időpont, valamint ezek kölcsönhatásának hatását is vizsgáltuk.

A választott szignifikancia szint valamennyi esetben min. $p \leq 0,05$ volt. Az üzemi kísérletnél a statisztikai analízisek elvégzéséhez az SPSS 26.0. (IBM, Armonk, NY) programot használtuk. A vizsgált paraméterek esetében a számtani átlagot, a szórást (SD), az átlagok standard hibáját (SEM) a kezeléseknél kiszámítottuk. Az adatok eloszlásának normalitását a Kolmogorov-Smirnov teszttel ellenőriztük. A kezelések számának megfelelően a két csoportot, az adatok eloszlásától függően, kétmintás t -próbával vagy Kruskal-Wallis teszttel értékeltük. A választott szignifikanciaszint valamennyi esetben min. $p \leq 0,05$ volt.

Az elektronikus orr méréseiből származó kromatográfiás adatokat az AlphaSoft szoftverrel (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország) dolgoztuk fel. A kromatogramokon megjelenő illékony komponensek azonosítása a C6–C16 n-alkán standardok alapján meghatározott Kováts-féle retenciós index (RI) segítségével történt. A szoftver automatikusan meghatározta az egyes csúcsok retenciós indexét és integrált csúcsterületét, amelyek az illékony komponensek azonosítására, illetve relatív mennyiségének jellemzésére szolgáltak. Az így kapott kromatográfiás adatokat ezt követően főkomponens-analízissel (PCA) és diszkriminancia-analízissel (DFA) értékeltük. A PCA a minták közötti természetes hasonlóságok és különbségek feltárására szolgált, míg a DFA az előre definiált fermentációs kezelések (DDGS-V-R, DDGS-V-LP, DDGS-T, CGF-V-R, CGF-V-LP és CGF-T) aromaprofil alapján történő elkülöníthetőségének vizsgálatát tette lehetővé. A többváltozós statisztikai elemzések

segítségével értékeltük, hogy a szubsztrát típusa, a fermentációs közeg és a starterkultúra milyen mértékben befolyásolta a fermentált abrakkeverékek illékony szerves vegyületprofilját.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. Az *in sacco* és bendőfermentációs kísérlet juhokkal – eredmények és értékelés

5.1.1. Az *in sacco* vizsgálatok eredményei és értékelése

A kontroll és a fermentált keverékek (búza, szójadara és árpaszalma) szárazanyag-, nyersfehérje- és NDF-lebomlási jellemzőit, valamint a sejtfal lebomlási kinetikáját a 9. táblázatban foglaltuk össze. A szárazanyag és a nyersfehérje lebomlását az Ørskov és McDonald által leírt modell, míg az NDF lebomlási kinetikáját a Mertens és Loften (1980) által leírt L–T modell alapján értékeltük.

A szárazanyag-lebomlás kinetikai paraméterei közül a gyorsan lebomló hányad (a) aránya szignifikánsan nagyobb volt a kontroll keverékben, mint a fermentált keverékben (35,51 vs. 29,99%; $p=0,001$). A lassan lebomló hányad (b) (32,78 vs. 36,93%; $p=0,170$), valamint a lassan lebomló rész bontási sebessége óránként (c) (0,031 vs. 0,035/óra; $p = 0,166$) ugyanakkor nem különbözött szignifikánsan a kezelések között. A szárazanyag tényleges bendőbeli lebonthatósága mindkét bendőbeli kiáramlási sebesség mellett szignifikánsan kisebb volt a fermentált keverék esetében. Az 5%/óra kiáramlási sebességnél a kontroll és a fermentált keverék tényleges bendőbeli lebonthatósága 47,93%, illetve 45,24% volt ($p = 0,003$), míg 8%/óra kiáramlási sebesség mellett 44,58%, illetve 41,30%-os értéket mértünk ($p<0,001$).

A nyersfehérje-lebomlás esetében hasonló változást figyeltünk meg a gyorsan lebomló hányadban (a), amelynek aránya szignifikánsan nagyobb volt a kontroll keverékben, mint a fermentált keverékben (37,61% vs. 32,06%; $p<0,001$).

9. táblázat: A kontroll és fermentált keverékek szárazanyag-, nyersfehérje- és NDF-tartalmának *in sacco* lebonthatósága, valamint az NDF lebontásának kinetikája a Mertens és Loften (1980) által kidolgozott L–T modell alapján juhokban

	K ¹	F ²	SEM ³	p érték
Szárazanyag lebomlás				
a ⁴ (% sz.a.)	35,51 ^a	29,99 ^b	0,837	0,001
b ⁵ (% sz.a.)	32,78	36,93	1,490	0,170
c ⁶ (%/óra)	0,031	0,035	0,001	0,166
ED ⁷ 5%/óra (%)	47,93 ^a	45,24 ^b	0,488	0,003
ED ⁷ 8%/óra (%)	44,58 ^a	41,30 ^b	0,484	<0,001
Nyersfehérje lebomlás				
a ⁴ (% sz.a.)	37,61 ^a	32,06 ^b	0,879	<0,001
b ⁵ (% sz.a.)	45,99	46,55	0,849	0,752
c ⁶ (%/óra)	0,043	0,073	0,007	0,055
ED ⁷ 5%/óra (%)	59,21	57,56	0,954	0,423
ED ⁷ 8%/óra (%)	54,04	52,40	1,024	0,459
NDF lebomlás				
a ⁴ (% sz.a.)	7,86	6,17	0,548	0,130
b ⁵ (% sz.a.)	64,86	59,07	6,120	0,647
c ⁶ (%/óra)	0,016	0,019	0,002	0,560
Késleltetési idő (óra)	5,03 ^b	3,30 ^a	0,431	0,042
Sejtfal lebomlási sebesség (%/óra)	0,032	0,038	0,001	0,126
ED ⁷ 5%/óra (%)	20,32	21,13	0,686	0,570
ED ⁷ 8%/óra (%)	16,39	16,69	0,471	0,762

¹ K=kontroll keverék.

² F=fermentált keverék.

³ SEM: az átlag standard hibája.

^{a, b} az azonos soron belül eltérő felső indexű átlagok szignifikánsan különböznek (p < 0,05).

⁴ a=gyorsan lebomló hányad.

⁵ b=lassan lebomló hányad.

⁶ c=a lassan lebomló rész bontási sebessége óránként.

⁷ ED=tényleges bendőbeli lebomlás, 5%/óra és 8%/óra kiürülési ráták alkalmazásával számítottuk.

A lassan lebomló hányad (b) aránya azonosan alakult a két kezelésnél (45,99 vs. 46,55%; $p=0,752$). A lassan lebomló fehérje hányad (b) lebomlási sebessége a fermentált keverékben nagyobb volt (0,073 vs. 0,043/óra), azonban a különbség nem érte el a statisztikai szignifikancia szintjét ($p = 0,055$). A szárazanyaggal ellentétben a nyersfehérje tényleges bendőbeli lebonthatóságát a fermentáció nem befolyásolta szignifikánsan sem 5%/óra (59,21 vs. 57,56%; $p = 0,423$), sem 8%/óra kiáramlási sebesség mellett (54,04 vs. 52,40%; $p = 0,459$).

Az NDF-lebomlás kinetikai paraméterei közül a gyorsan lebomló hányad (a) és a lassan lebomló hányad (b), valamint a lassan lebomló rész bontási sebessége óránként (c) nem különbözött szignifikánsan a kezelések között. Ugyancsak nem mutatkozott különbség az NDF tényleges bendőbeli lebomlásában sem 5%/óra (20,32 vs. 21,13%; $p = 0,570$), sem 8%/óra kiáramlási sebesség mellett (16,39 vs. 16,69%; $p = 0,762$). A sejtfal lebomlási sebessége a fermentált keverékben nagyobb volt (0,038 vs. 0,032/óra), azonban ez az eltérés nem bizonyult szignifikánsnak ($p = 0,126$).

Az NDF-lebomlás kinetikájában szignifikáns különbséget kizárólag a késleltetési időben (lag time) figyeltünk meg. A fermentált keverék esetében a lebomlás megindulását megelőző lag fázis szignifikánsan rövidebb volt, mint a kontroll keverékben (3,30 vs. 5,03 óra; $p = 0,042$). A lag time azt az időszakot jelöli, amely a lebomlás tényleges megindulása előtt telik el, és amely során a növényi sejtfalat bontó mikroorganizmusok megtapadnak a takarmányrészecskéken, kolonizálják azok felszínét, majd megkezdődik a strukturális szénhidrátok lebontása (Chesson és Forsberg, 1997). A rövidebb lag fázis ezért arra utalhat, hogy a fermentáció olyan fizikai vagy kémiai

változásokat idézett elő a takarmánymátrixban, amelyek elősegítették a rostbontó mikroorganizmusok gyorsabb hozzáférését a sejtfalhoz.

Az eredmények alapján a fermentáció eltérő módon befolyásolta a takarmány gyorsan hozzáférhető és strukturális frakcióinak bendőbeli lebomlását. A szárazanyag és a nyersfehérje gyorsan lebomló részének (a) csökkenése feltehetően azzal magyarázható, hogy a fermentáció során a mikroorganizmusok részben felhasználták a könnyen hozzáférhető, vízzeloldható táplálóanyagokat saját anyagcseréjükhöz és biomassza-képzésükhöz. Ennek következtében a fermentált keverék a bendőbe kerüléskor kisebb arányban tartalmazhatott azonnal oldódó komponenseket. A szárazanyag esetében ez az „a” rész csökkenése a tényleges bendőbeli lebomlás mérséklődésében is megjelent, mivel a kisebb gyorsan oldódó részt a lassan lebomló (b) rész és annak lebomlási sebessége nem kompenzálta.

A nyersfehérje esetében ugyanakkor az oldható frakció csökkenése nem eredményezte a tényleges bendőbeli lebomlás szignifikáns mérséklődését. Ennek lehetséges magyarázata, hogy a fermentáció során a könnyen oldódó nitrogénvegyületek egy része mikrobiális eredetű fehérjévé vagy más, kevésbé gyorsan oldódó nitrogéntartalmú komponenssé alakulhatott. Ezt az értelmezést támogatja, hogy a lassan lebomló rész (b) rész nagysága nem változott, míg annak lebomlási sebessége a fermentált keverékben nagyobb volt, és a különbség nem volt szignifikáns ($p = 0,055$). Feltételezhető tehát, hogy a fermentáció elsősorban a nyersfehérje-frakciók megoszlását és lebomlásuk időbeli dinamikáját módosította, anélkül, hogy a tényleges bendőbeli fehérje-lebonthatóságot érdemben megváltoztatta volna.

Az NDF esetében a fermentáció hatása más jellegű volt. A lebomlás mértéke, sebessége és tényleges bendőbeli lebomlása nem változott szignifikánsan, a késleltetési idő 5,03 órától 3,30 órára csökkent. Ez arra utal, hogy a fermentáció nem növelte a bendőben ténylegesen lebomló sejtfal mennyiségét, hanem annak lebomlását tette lehetővé korábbi időpontban. A fermentáció során termelődő szerves savak és mikrobiális enzimek részben módosíthatták a növényi sejtfal szerkezetét, növelhették annak hozzáférhetőségét, illetve csökkenthették a rostbontó mikroorganizmusok megtapadásához és kolonizációjához szükséges időt. A sejtfal lebomlási sebességének számszerű növekedése (0,032-ről 0,038/óra) szintén ebbe az irányba mutat, bár a különbség statisztikailag nem volt szignifikáns.

A szárazanyag-, nyersfehérje- és NDF-lebomlás eredményei együttesen arra utalnak, hogy a fermentáció hatása elsősorban nem a bendőben lebomló táplálóanyagok teljes mennyiségének növelésében, hanem a takarmányfrakciók átrendeződésében és a lebomlás időbeli dinamikájának módosításában nyilvánult meg. A fermentált keverék kevesebb azonnal oldódó szárazanyag- és nyersfehérje-frakciót tartalmazott, ugyanakkor a strukturális szénhidrátok lebomlása rövidebb késleltetési idő után kezdődött meg. Ez azt jelezheti, hogy a fermentáció a könnyen hozzáférhető komponensek részleges mikrobiális felhasználása mellett előkezelt a rostos takarmányrészeket, ezáltal gyorsabbá téve annak bendőbeli mikrobiális kolonizációját.

A fermentáció hatásának értelmezése során figyelembe kell venni, hogy a mikroorganizmusok a folyamat során felhasználják a könnyen hozzáférhető szubsztrátok egy részét saját anyagcseréjükhöz és

biomassza-képzésükhöz, ezáltal módosíthatják a takarmány gyorsan lebomló és lassan lebomló részeinek egymáshoz viszonyított arányát. Chen és mtsai. (2021) arról számoltak be, hogy a fermentáció során a vízoldható szénhidrátok aránya csökkenhet, ami hozzájárulhat a gyorsan oldódó rész (a) mérséklődéséhez. Nii és Okabe (2012) négy, eltérő összetételű, különböző élelmiszeripari melléktermékeket és tömegtakarmányokat tartalmazó takarmánykeverék bendőbeli lebonthatóságát értékelték a fermentáció előtt és után. A vizsgált keverékek többek között tofu- és szójaszószgyártási mellékterméket, almalépépet, gombatermesztési szubsztrátot, sörfőzdei nedves mellékterméket, répapépet, zab- és timothy szénát, valamint búzaszalmát tartalmaztak. Eredményeik szerint a szárazanyag lassan lebomló (b) frakciója valamennyi takarmány esetében csökkent a fermentáció hatására. Az oldható szárazanyag frakció szintén kisebb volt a fermentáció után, mivel a fermentációt megelőző 30,4–41,5%-os tartomány 27,2–36,5%-ra mérséklődött. Saját eredményeink e tekintetben összhangban állnak Nii és Okabe (2012) megfigyeléseivel, mivel a fermentáció hatására az oldható szárazanyag-frakció 35,51%-ról 29,99%-ra csökkent.

A nyersfehérje-lebomlás tekintetében azonban eltérés mutatkozott a két vizsgálat eredményei között. Nii és Okabe (2012) a nyersfehérje gyorsan oldódó (a) frakciójának növekedését figyelték meg a fermentáció után, továbbá mind a szárazanyag, mind a nyersfehérje lebomlási sebességi állandójának növekedéséről számoltak be. A szerzők ezt azzal magyarázták, hogy a fermentáció hatására több, a bendőmikroorganizmusok számára könnyen hozzáférhető komponens keletkezhetett. Saját *in sacco* vizsgálatunkban ezzel szemben a

fermentáció szignifikánsan csökkentette a nyersfehérje oldható frakcióját, míg sem a lassan lebomló rész (b), sem a lassan lebomló rész bontási sebessége óránként nem változott szignifikánsan. A két vizsgálat közötti eltérés valószínűleg a fermentált keverékek jelentősen különböző alapanyag- és táplálóanyag-összetételével, valamint a fermentációs körülmények eltéréseivel is magyarázható.

Ezt az értelmezést Nii és Okabe (2012) további eredményei is alátámasztják. A szerzők megállapították ugyanis, hogy a takarmánykeverékek táplálóanyag-összetétele befolyásolta a nyersfehérje bendőbeli lebomlásának fermentációra gyakorolt hatását. Az alacsonyabb rosttartalmú TMR-ekben a lassan lebomló nyersfehérje-frakció növekedett a fermentáció után, míg a nagyobb rosttartalmú keverékekben csökkent. Mindez arra utal, hogy a fermentáció nyersfehérje-lebomlásra gyakorolt hatása nem általánosítható, hanem szorosan összefügg a takarmány összetételével és a fermentáció során végbemenő szubsztrát átalakulásokkal.

Az NDF-lebomlás esetében a saját vizsgálat legfontosabb eredménye a késleltetési idő szignifikáns, 5,03 órától 3,30 órára történő csökkenése volt. A sejtfal szerkezetének fermentáció által előidézett módosulását több vizsgálat is leírta. Wang és mtsai. (2021) arra mutattak rá, hogy a fermentáció során képződő szerves savak és mikrobiális enzimek módosíthatják a hemicellulózt tartalmazó sejtfalmátrixot, ezáltal elősegítve a mikroorganizmusok gyorsabb hozzáférését a strukturális szénhidrátokhoz. A sejtfal szerkezeti módosítása ezért lerövidítheti a lebomlás megindulásához szükséges időt. Poppi és mtsai. (1981) Pangola- és Rhodes-fű vizsgálata is kimutatta, hogy a takarmány fizikai előkezelése jelentősen befolyásolhatja a lag fázis hosszát. A darabolt

minták késleltetési ideje hosszabb volt, mint a megrágott mintáké. Eredményeik arra utalnak, hogy a takarmány szerkezetének előzetes módosítása befolyásolhatja a mikrobiális kolonizáció sebességét és ezáltal a sejtfal lebomlásának megindulását. Feltételezhető, hogy jelen vizsgálatban a fermentáció hasonló módon, a takarmánymátrix előzetes módosításán keresztül rövidítette le a lag fázist.

5.1.2. A bendőfermentációs vizsgálatok eredményei és értékelése

Vizsgálataink során a bendőfolyadék paramétereit értékeltük a kontroll és fermentált takarmányt tartalmazó csoportokban.

Az etetést követően mért bendő pH-értékek és ammónia-N koncentrációk alakulását a kontroll és a kísérleti csoport bendőfolyadék-mintáiban a 10. táblázat mutatja be. A bendőfolyadék pH-értéke az etetést követően 3 órával mindkét csoportban csökkenést mutatott. A kontroll csoportban az átlagos pH-érték 6,42-ről 5,82-re, míg a fermentált keveréket fogyasztó kísérleti csoportban 6,41-ről 5,85-re csökkent, amely hozzávetőlegesen 0,6 pH-egységnyi csökkenésnek felelt meg. Az etetést követő 6. órára mindkét csoportban emelkedés volt megfigyelhető, a kontroll csoportban a pH 6,08-ra, míg a kísérleti csoportban 6,07-re növekedett.

Az ammónia-koncentráció alakulását a kezelés nem befolyásolta szignifikánsan. A legalacsonyabb értéket, 8,96 mmol/l-t a kísérleti csoportban, az etetést követő 6. órában, míg a legmagasabbat, 14,51 mmol/l-t a kontroll csoportban, az etetést követő 3. órában mértük.

10. táblázat: A bendőfolyadék-minták pH-ja és ammónia-N-koncentrációja a kontroll és fermentált kezelésekben juhokban (n = 30/kezelés/időpont)

	K ¹	F ²	SEM ³	p érték
Etetés előtt				
pH	6,42	6,41	0,03	0,800
Ammónia-N (mmol/l)	12,33	11,46	0,361	0,231
3 óra etetés után				
pH	5,82	5,85	0,031	0,626
Ammónia-N (mmol/l)	14,51	13,95	0,666	0,683
6 óra etetés után				
pH	6,08	6,07	0,03	0,919
Ammónia-N (mmol/l)	10,00	8,96	0,536	0,339

¹ K=kontroll takarmány.

² F=fermentált takarmány.

³ SEM: az átlag standard hibája.

Az összes illózsírsav koncentrációjának, valamint az egyes illózsírsavak moláris arányának alakulását a 11. táblázat mutatja be. Az egyes illózsírsavak moláris arányai a kontroll- és a kísérleti csoport között valamennyi mintavételi időpontban hasonlóan alakultak. Az ecetsav aránya az etetést megelőzően 63,17, illetve 64,23 mol/100 mol, az etetést követő 3. órában 62,30, illetve 62,55 mol/100 mol, míg a 6. órában 63,13, illetve 63,99 mol/100 mol volt a kontroll- és a kísérleti csoportban. A propionsav aránya szintén szűk tartományban változott. Az etetés előtt 19,75 és 18,75 mol/100 mol, 3 órával az etetést követően 19,24 és 19,16 mol/100 mol, míg a 6. órában 19,51 és 18,85 mol/100 mol értéket mértünk.

A vajsav, az izovajsav, az izovaleriánsav és a valeriánsav moláris arányában ugyancsak nem mutatkozott szignifikáns különbség a kezelések között.

11. táblázat: A bendőfolyadék-minták összes illózsírsav-koncentrációja és az egyes illózsírsavak moláris aránya a kontroll és fermentált kezelésekben juhokban (n = 30/kezelés/időpont)

		K ¹	F ²	SEM ³	p érték
Etetés előtt	Összes illózsírsav (mmol/l)	97,68	101,06	2,681	0,533
	Ecetsav (C2; mol/100 mol)	63,17	64,23	0,356	0,138
	Propionsav (C3; mol/100	19,75	18,75	0,275	0,069
	Izovajsav (iC4; mol/100	1,07	1,09	0,03	0,764
	Vajsav (C4; mol/100 mol)	13,94	13,97	0,221	0,946
	Izovaleriánsav (iC5; mol/100	0,94	0,97	0,019	0,414
	Valeriánsav (C5; mol/100	1,12	0,97	0,055	0,203
	C2:C3 arány	3,26	3,46	0,06	0,097
3 órával etetés után	Összes illózsírsav (mmol/l)	136,06	138,16	2,39	0,664
	Ecetsav (C2; mol/100 mol)	62,3	62,55	0,356	0,734
	Propionsav (C3; mol/100	19,24	19,16	0,366	0,911
	Izovajsav (iC4; mol/100	0,65	0,72	0,021	0,13
	Vajsav (C4; mol/100 mol)	15,84	15,55	0,211	0,502
	Izovaleriánsav (iC5; mol/100	0,55	0,60	0,018	0,242
	Valeriánsav (C5; mol/100	1,41	1,43	0,048	0,877
	C2:C3 arány	3,35	3,30	0,066	0,054
6 órával etetés után	Összes illózsírsav (mmol/l)	115,01	117,23	2,599	0,672
	Ecetsav (C2; mol/100 mol)	63,13	63,99	0,358	0,238
	Propionsav (C3; mol/100	19,51	18,85	0,367	0,373
	Izovajsav (iC4; mol/100	0,69	0,75	0,02	0,16
	Vajsav (C4; mol/100 mol)	14,82	14,64	0,229	0,707
	Izovaleriánsav (iC5; mol/100	0,55	0,59	0,02	0,344
	Valeriánsav (C5; mol/100	1,28	1,17	0,048	0,253
	C2:C3 arány	3,34	3,43	0,064	0,533

¹ K=kontroll kezelés.

² F=fermentált kezelés.

³ SEM: az átlag standard hibája.

Az izovajsav és az izovaleriánsav aránya az etetést követően mindkét mintavételi időpontban, mindkét kezelés esetében átlagosan mintegy 40%-kal csökkent a kiindulási értékekhez képest, azonban a változás statisztikailag nem bizonyult szignifikánsnak. A vajsav aránya az etetés előtti 13,94, illetve 13,97 mol/100 mol értékről az etetést követő 3. órára 1,9, illetve 1,6 százalékponttal emelkedett a kontroll- és a kísérleti csoportban. A valeriánsav aránya a kiindulási, 1,12, illetve 0,97 mol/100 mol értékhez viszonyítva megközelítőleg 40%-kal nőtt az etetést követő 3. órában, és mintegy 25%-kal a 6. órában, azonban ezek a változások sem bizonyultak szignifikánsnak.

Az ecetsav és a propionsav moláris aránya a vizsgálat során szűk tartományban maradt, értéke 3,26 és 3,46 között alakult.

Eredményeink tehát azt mutatják, hogy a fermentált takarmány alkalmazása nem idézett elő szignifikáns változást a bendőfermentáció vizsgált fő paramétereiben. A bendőfolyadék pH-ja, ammónia-koncentrációja, az összes illózsírsav koncentrációja, valamint az egyes illózsírsavak moláris aránya valamennyi mintavételi időpontban a fiziológiás tartományon belül maradt, és a kísérleti csoport értékei nem különböztek szignifikánsan a kontroll csoporttól.

Az etetést követően mindkét csoportban megfigyelhető átmeneti pH-csökkenés a mikrobiális fermentáció fokozódásával és az illózsírsavak intenzív képződésével magyarázható. A pH-értékek ezt követő emelkedése arra utal, hogy a bendő pufferkapacitása és a nyáltermelés hozzájárult a bendőközeg sav-bázis egyensúlyának fokozatos helyreállításához. Bár az etetést követően a bendő pH-ja átmenetileg csökkent, később ismét a fiziológiás tartományba tért vissza, ami a

bendőfermentáció normál dinamikájára és a szabályozó mechanizmusok megfelelő működésére utal.

Az etetést követően megfigyelhető ammónia-koncentráció emelkedés a takarmány fehérje- és nemfehérje-nitrogénforrásainak bendőbeli lebontásával magyarázható, míg a későbbi csökkenés az ammónia mikrobiális fehérjeszintézis során történő fokozott felhasználására utalhat. A fermentált takarmány alkalmazása azonban ezt a folyamatot nem módosította olyan mértékben, hogy a kezelések között szignifikáns különbség alakuljon ki.

Az összes illózsírsav stabilitása alapján a fermentált takarmány nem változtatta meg érdemben a bendőben zajló fermentáció irányát. A fermentált takarmányban jelen lévő mikrobiális eredetű metabolitok és egyéb bioaktív komponensek elméletileg képesek lehetnek a bendő mikrobiális ökoszisztémájának és fermentációs folyamatainak módosítására, a jelen vizsgálat körülményei között hatásuk nem volt olyan mértékű, hogy a vizsgált bendőfermentációs paraméterekben statisztikailag kimutatható változást eredményezzen.

Az eredmények alapján az ecetsav:propionsav arányt sem befolyásolta a fermentált takarmány alkalmazása.

A szakirodalmi adatok alapján a fermentált takarmányok bendőfermentációra gyakorolt hatása jelentős variabilitást mutat, és az eredmények nem egységesek. Aschenbach és mtsai. (2011) rámutattak arra, hogy a bendőben zajló mikrobiális fermentáció alapvetően meghatározza a pH alakulását, amely visszahat a mikrobiális közösség összetételére és az anyagcsere-termékek képződésére. A bendő mikrobiális ökoszisztémáját ugyanakkor a takarmány összetétele és feldolgozása is jelentősen befolyásolhatja, ezért a fermentált

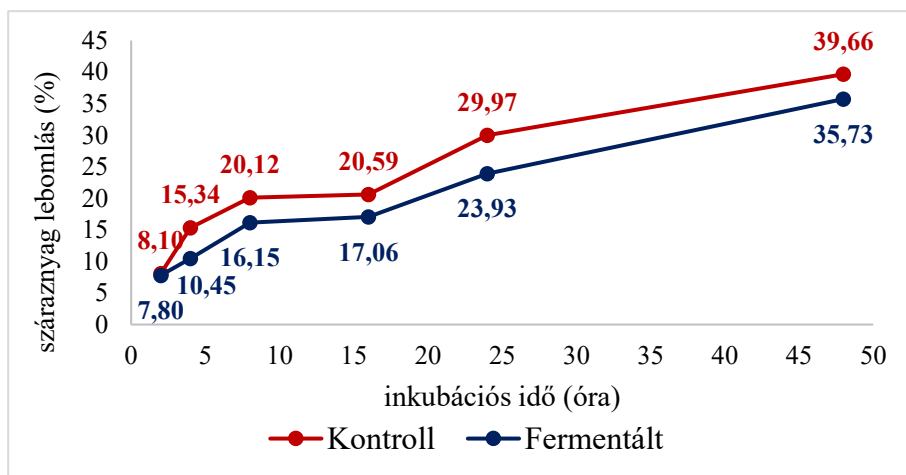
takarmányok hatása nagymértékben függhet az alkalmazott alapanyagoktól, a fermentáció körülményeitől és a teljes takarmányadag jellemzőitől. Kim és mtsai. (2012) két, fermentált takarmánykomponenst tartalmazó teljes keveréktakarmányt (T1 és T2, FTMR) hasonlítottak össze egy fermentált komponenst nem tartalmazó teljes keveréktakarmánnyal (T3, TMR). A T1 takarmány 18,4%, míg a T2 17,7% fermentált komponenst tartalmazott. A fermentált komponens rizskorpa és búzakorpa 1:1 arányú keverékéből készült, amelyet *Lactobacillus acidophilus* és *Saccharomyces cerevisiae* felhasználásával, 37 °C-on, 48 órán keresztül fermentáltak. Az *in vitro* szárazanyag-lebomlás az inkubációs idő előrehaladtával valamennyi kezelésben fokozatosan növekedett, azonban a fermentált komponenst tartalmazó T1 és T2 kezelések a 3-12 órás inkubációs időszakban nagyobb szárazanyag-lebomlást mutattak, mint a fermentált komponenst nem tartalmazó T3 kezelés. A 24 és 48 órás inkubációt követően ugyanakkor a kezelések között már nem volt szignifikáns különbség. A bendőfermentációs paraméterek közül kizárólag az ecetsav moláris aránya különbözött, míg a pH és az ammónia-koncentráció nem változott szignifikánsan. Park és mtsai. (2020) vizsgálataiban a fermentált takarmányok növelték az összes illózsírsav koncentrációját, ami a bendő mikrobiális fermentációs aktivitásának fokozódására utalhat. Chen és mtsai. (2023) eredményei szerint egyes fermentált takarmányok a propionsav moláris arányának növekedését és az ecetsav:propionsav arány csökkenését is előidézhetik, ami kedvezőbb energiahasznosítással járhat együtt.

5.2. Az *in sacco* és bendőfermentációs kísérlet eredményei és értékelése szarvasmarhákon

5.2.1. Az *in sacco* kísérlet eredményei és értékelése

A búza-búzakorpa-szójadara-csutkaliszt keverékkel végzett *in sacco* vizsgálatok eredményeit először a szárazanyag lebomlására vonatkozóan értékeltük. A kapott adatokat a 2. ábra szemlélteti.

2. ábra: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek szárazanyagának *in sacco* lebomlása különböző inkubációs időkben szarvasmarhákban



Az eredmények alapján a szárazanyag lebomlása mind a kontroll, mind a fermentált takarmány esetében az inkubációs idő előrehaladtával fokozatosan növekedett. A 2 órás inkubációt követően a két kezelés között csak minimális különbség mutatkozott, a kontroll takarmány szárazanyag-lebomlása 8,10%, míg a fermentált takarmányé 7,80% volt. A további inkubációs időpontokban azonban a kontroll takarmány nagyobb lebomlási értéket mutatott.

A különbség már a 4 órás inkubációt követően láthatóvá vált, itt a kontroll mintában 15,34%, a fermentált takarmányban pedig 10,45%

szárazanyag-lebomlást mértünk. A 8 órás inkubációs időt követően az értékek 20,12, illetve 16,15%-ot értek el, míg a 16 órás inkubáció során a lebomlás növekedése mindkét kezelésben mérsékeltebb volt, ahol a kontroll esetében 20,59%, a fermentált takarmány esetében pedig 17,06% lebomlást határoztunk meg. Ezt követően a lebomlás ismét növekedett, és 24 óránál a kontroll takarmány 29,97%-os, míg a fermentált takarmány 23,93%-os értéket mutatott. A legnagyobb szárazanyag-lebomlást a 48 órás inkubáció végén mértük, amikor a kontroll takarmányban 39,66%, a fermentált takarmányban pedig 35,73% volt a lebomlás mértéke.

Az Ørskov–McDonald-féle modell segítségével meghatároztuk a szárazanyag gyorsan lebomló (a-frakció) és lassan lebomló (b-frakció) hányadát, valamint a lassan lebomló rész bontási sebességét óránként (c). Az eredményeket a 12. táblázat mutatja be. A gyorsan lebomló rész (a) aránya a fermentált takarmányban szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontrollban (13,94 vs. 7,66%; $p < 0,001$). A lassan lebomló rész (b) esetében nem mutatkozott statisztikailag igazolható különbség a két kezelés között, bár a fermentált takarmány számszerűen nagyobb értéket mutatott (46,32 vs. 39,20%; $p = 0,168$).

A lassan lebomló rész bontási sebességét kifejező érték ezzel szemben szignifikánsan kisebb volt a fermentált takarmányban, mint a kontrollban (0,029 vs. 0,053/óra; $p = 0,020$). Ez arra utal, hogy a fermentáció növelte az azonnal hozzáférhető szárazanyag-frakció arányát, ugyanakkor a potenciálisan lebontható komponensek bendőbeli degradációja kisebb sebességgel ment végbe.

12. táblázat: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek szárazanyag-lebomlási eredményei (átlag) az Ørskov–McDonald-modell alapján szarvasmarhákban

	K ¹	F ²	SEM ³	p érték
a ⁴ (% sz.a.)	7,66 ^b	13,94 ^a	0,012	<0,001
b ⁵ (% sz.a.)	39,2	46,32	0,025	0,168
c ⁶ (%/óra)	0,053 ^a	0,029 ^b	0,006	0,02
ED-5 (%) ⁷	27,37 ^b	30,16 ^a	0,678	0,023
ED-8 (%) ⁷	22,90 ^b	25,68 ^a	0,683	0,026

¹ K=kontroll keverék.

² F=fermentált keverék.

³ SEM: az átlag standard hibája.

^{a, b} az azonos soron belül eltérő felső indexű átlagok szignifikánsan különböznek (p < 0,05).

⁴ a=gyorsan lebomló hányad.

⁵ b=lassan lebomló hányad.

⁶ c=a lassan lebomló rész bontási sebessége óránként.

⁷ ED=tényleges bendőbeli lebomlás, 5%/óra és 8%/óra kiürülési ráták alkalmazásával számítottuk.

A tényleges bendőbeli lebonthatóságot 5 és 8%/óra kiáramlási sebességnél is kiszámítottuk (Nocek és Tamminga, 1991) (12. táblázat). Szignifikáns különbség mutatkozott a két csoport között az 5 és 8%/óra kiáramlási sebességnél is. A hazai takarmányozási gyakorlat szempontjából irányadónak tekintett 8%/óra mellett a kontroll ED értéke 22,90% volt, míg a fermentált takarmányé 25,68%, ami szignifikánsan nagyobbnak bizonyult. Eredményeink azt jelzik, hogy az abrakkomponensek fermentálása intenzív és mérsékelten intenzív etetési viszonyok mellett is növeli a szárazanyag tényleges bendőbeli lebonthatóságát.

Az eredmények értékelésekor fontos hangsúlyozni, hogy az alacsonyabb *in sacco* szárazanyag-lebomlás nem feltétlenül jelenti a fermentáció kedvezőtlen hatását. Utalhat arra, hogy a fermentáció során

a takarmány szárazanyag-frakcióinak aránya és hozzáférhetősége megváltozott. A gyorsan fermentálható komponensek egy része már az előzetes fermentáció során felhasználódhatott, így a bendőben elsősorban a lassabban és nehezebben lebontható frakciók maradtak vissza. Ezt támasztja alá, hogy a két kezelés közötti különbség a 48 órás inkubációs időre mérséklődött. A fermentált takarmány szárazanyag-lebomlása ekkor már megközelítette a kontrollét, ami arra utalhat, hogy a visszamaradó, lassabban hozzáférhető komponensek hosszabb inkubációs idő mellett fokozatosan vettek részt a bendő mikrobiális lebontási folyamataiba.

Ezzel párhuzamosan a b-frakció lebomlási sebessége szignifikánsan csökkent, amit a fermentált takarmány kisebb „c” értéke (0,029 vs. 0,053/óra) is jelez. Ezt támasztja alá az is, hogy 4 és 24 óra között inkubációs időpontokban a fermentált takarmány ténylegesen mért szárazanyag-lebomlása alacsonyabb volt a kontrollénál. A fermentált takarmány tehát nagyobb gyorsan oldódó résszel rendelkezett, ugyanakkor a visszamaradó, lassan lebomló komponensek lebontása lassabban ment végbe.

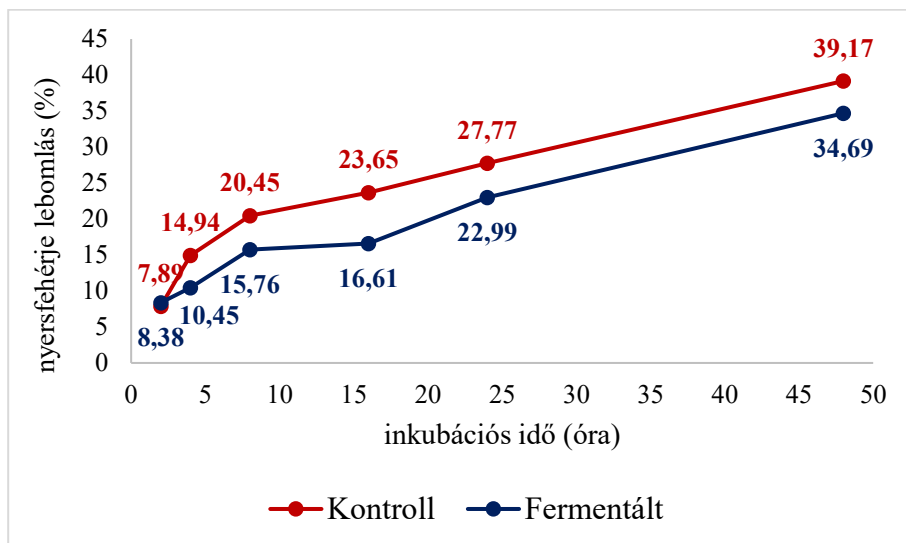
A tényleges bendőbeli lebomlás mindkét vizsgált kiáramlási sebesség mellett nagyobb volt a fermentált takarmányban. Ennek magyarázata az Ørskov–McDonald-modell matematikai összefüggésében keresendő, mivel a tényleges bendőbeli lebomlást az a-frakció, a b-frakció, és a lassan lebomló rész bontási sebessége (c), valamint a bendőből való kiáramlási sebesség (k) együttesen határozza meg. A gyorsan oldódó a-frakció teljes egészében hozzájárul a tényleges bendőbeli lebomláshoz, míg a b-frakciónak csak az a része hasznosul a bendőben, amely a továbbhaladás előtt ténylegesen lebomlik. A fermentált takarmány

esetében az a-frakció 6,28 százalékponttal nagyobb volt, ami ellensúlyozta a b-frakció kisebb lebomlási sebességének kedvezőtlen hatását. Ennek eredményeként az ED-5 és az ED-8 értéke egyaránt szignifikánsan nagyobb lett a fermentált kezelésben.

Eredményeinkkel összhangban Kim és mtsai. (2012) in vitro kísérletükben igazolták, hogy a fermentált összetevőket tartalmazó teljes takarmánykeverék szárazanyag-lebomlása 3, 6, 9 és 12 órás inkubációt követően szignifikánsan nagyobb volt, mint a fermentálatlan kontrollé. A fermentáció vizsgálatukban 50:50 arányú búza- és rizskorpa-keveréken történt. Wongnen és mtsai. (2009) tejelő teheneknél hasonlították össze a fermentált és a nem fermentált TMR etetésének hatását a teljesítményre. Eredményeik alapján a fermentálás jó megoldás lehet a TMR minőségének javítására, ugyanakkor a szárazanyag-emészthetőséget nem befolyásolta. Megfigyeléseink összhangban állnak Zhang és mtsai. (2020) megállapításaival is, akik a fermentált lucernaszéna–nedves CGF–kukoricaszár keverék esetén nagyobb gyorsan lebomló szárazanyag-résarányt (a-frakció) és nagyobb bendőbeli lebonthatóságot mértek a fermentálatlan keverékhez és a lucernaszénához képest tejelő teheneken. A fermentált keveréket fogyasztó tehenek tejtermelése szignifikánsan növekedett a másik két kezeléssel szemben, ami arra utal, hogy a szárazanyag jobb hasznosulása a termelési eredményekben is megjelenik.

A kérődzők takarmányozása szempontjából kiemelt jelentőségű a nyersfehérje bendőbeli lebonthatóságának vizsgálata is. A 3. ábra adatai szerint a bendőben lebomlott nyersfehérje (RDP) aránya az inkubációs idő növekedésével mindkét kezelésben folyamatosan emelkedett.

3. ábra: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek nyersfehérjéjének *in sacco* lebomlása különböző inkubációs időkben szarvasmarhákban



A 2 órás inkubáció során a fermentált takarmányban kismértékben nagyobb fehérjelebomlás volt megfigyelhető, mint a kontrollban (8,38%, illetve 7,89%). A további vizsgált időpontokban azonban a kontroll takarmány mutatott nagyobb RDP-értékeket. A kezelések közötti különbség 4 órás inkubációs időnél 4,49, 8 órás inkubációs időnél 4,69, 16 órás inkubációs időnél 7,04, 24 órás inkubációs időnél 4,78, míg 48 órás inkubációs időnél 4,48 százalékpont volt a kontroll javára. A legnagyobb eltérés a 16 órás inkubációs időpontban jelentkezett, amikor a kontroll takarmány nyersfehérjéjének 23,65%-a, míg a fermentált takarmányénak 16,61%-a bomlott le. A 48 órás inkubáció végére a lebomlott fehérje aránya a kontrollban 39,17%-ot, a fermentált takarmányban pedig 34,69%-ot ért el.

Az Ørskov–McDonald-féle modell eredményei (13. táblázat) azt mutatják, hogy a szárazanyaghoz hasonlóan a gyorsan lebomló

fehérjehányad (a) is szignifikánsan nagyobb volt a fermentált takarmányban, mint a kontrollban (19,48%, illetve 7,90%; $p < 0,001$).

13. táblázat: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek nyersfehérje-lebomlási eredményei (átlag) az Ørskov–McDonald-modell alapján szarvasmarhákban

	K ¹	F ²	SEM ³	p érték
a ⁴ (% sz.a.)	7,90 ^b	19,48 ^a	0,022	<0,001
b ⁵ (% sz.a.)	40,71	39,64	0,016	0,763
c ⁶ (%/óra)	0,056	0,033	0,007	0,13
ED-5 (%) ⁷	28,41 ^b	34,93 ^a	1,282	<0,001
ED-8 (%) ⁷	23,82 ^b	30,84 ^a	1,369	<0,001

¹ K=kontroll keverék.

² F=fermentált keverék.

³ SEM:az átlag standard hibája.

^{a, b} az azonos soron belül eltérő felső indexű átlagok szignifikánsan különböznek ($p < 0,05$).

⁴ a=gyorsan lebomló hányad.

⁵ b=lassan lebomló hányad.

⁶ c=a lassan lebomló rész bontási sebessége óránként.

⁷ ED=tényleges bendőbeli lebomlás, 5%/óra és 8%/óra kiürülési ráták alkalmazásával számítottuk.

Ezzel szemben az összes fehérje nagyobb hányadát képviselő, lassan lebomló rész (b) arányában nem volt kimutatható különbség a kezelések között (39,64%, illetve 40,71%; $p=0,763$). A b-frakció óránkénti lebomlási sebességét kifejező c-érték a fermentált takarmányban kisebb volt (0,033/óra), mint a kontrollban (0,056/óra), a különbség azonban statisztikailag nem bizonyult szignifikánsnak ($p=0,13$). A b-frakció kisebb lebomlási sebessége magyarázhatja, hogy a 2 órás inkubációs időt követően a nyersfehérje lebomlása valamennyi vizsgált időpontban kisebb volt a fermentált takarmányban, mint a kontrollban.

Ugyanakkor a tényleges bendőbeli lebomlás vizsgálata eltérő képet mutatott. Mind az 5, mind a 8%/óra feltételezett bendőbeli kiáramlási

sebesség mellett szignifikánsan nagyobb tényleges bendőbeli lebomlást mértünk a fermentált takarmányban. Az 5%/óra kiáramlási sebesség mellett számított ED értéke a fermentált takarmányban 34,93%, a kontrollban 28,41% volt ($p < 0,001$), míg 8%/óra kiáramlás mellett 30,84%, illetve 23,82%-os értékeket kaptunk ($p < 0,001$). A két vizsgált kiáramlási sebesség mellett a fermentált takarmány tényleges bendőbeli fehérjelebomlása átlagosan 6,77 százalékponttal haladta meg a kontrollét. A hazai intenzív takarmányozási gyakorlat szempontjából irányadónak tekintett 8%/óra kiáramlási sebesség mellett a különbség 7,02 százalékpont volt a fermentált takarmány javára.

A kapott eredmények háttérében a fermentáció során bekövetkező fehérjelebomlási folyamatok állnak. A 2 órás inkubáció során a fermentált takarmányban mért kismértékben nagyobb RDP-érték arra utalhat, hogy a fermentáció részben feltárta a takarmány szerkezetét, illetve növelte egyes gyorsan hozzáférhető nitrogéntartalmú komponensek arányát. A hosszabb inkubációs időpontokban ugyanakkor következetesen kisebb fehérjelebonthatóság volt megfigyelhető a fermentált takarmányban. Ennek egyik lehetséges magyarázata, hogy a fermentációt végző mikroorganizmusok a könnyen hozzáférhető táplálóanyagok egy részét már a fermentáció során felhasználták saját anyagcseréjükhöz és biomaszra-képzésükhöz, így a visszamaradó fehérjefrakció összetétele és bendőbeli hozzáférhetősége megváltozott. A kezelések közötti legnagyobb eltérés 16 órás inkubációnál jelentkezett, ami arra utal, hogy a fermentáció hatása elsősorban a lassan lebomló fehérjefrakció dinamikájában érvényesült. A 48 órás inkubációs időpontban mért adatokban a mérsékeltbb különbség alapján feltételezhető, hogy a fermentáció

elsősorban lassította, de nem gátolta a fehérje bendőbeli lebomlását, ami növelheti a bendőbeli lebomlást elkerülő fehérje arányát.

A különböző inkubációs időpontokban mért nyersfehérje-lebomlási értékek és a tényleges bendőbeli lebomlás közötti látszólagos ellentmondás a fehérjefrakciók eltérő lebomlási dinamikájával magyarázható. A fermentáció hatására a gyorsan hozzáférhető a-frakció aránya több mint kétszeresére, 7,90%-ról 19,48%-ra növekedett, miközben a lassan lebomló b-frakció mennyisége lényegesen nem változott. A b-frakció lebomlási sebességét kifejező c-érték a fermentált takarmányban kisebb volt. Ennek következtében a fermentált takarmányban nagyobb mennyiségű fehérje állt azonnal rendelkezésre, a visszamaradó lassan lebomló rész (b) degradációja azonban lassabban ment végbe.

A tényleges bendőbeli lebomlás nem a hosszú inkubációs idő alatt elérhető teljes lebomlást, hanem a fehérje tényleges bendőbeli tartózkodási ideje alatt várható lebomlását fejezi ki. Számításakor a gyorsan lebontható a-frakció teljes egészében figyelembevételre kerül, míg a b-frakciónak csak az a része járul hozzá az effektív lebonthatósághoz, amely a bendőből történő kiáramlás előtt lebomlik. A fermentált takarmány jelentősen nagyobb a-frakciója ezért ellensúlyozta a b-frakció kisebb lebomlási sebességét, és mind az 5, mind a 8%/óra kiáramlási sebesség mellett nagyobb tényleges bendőbeli lebomlást eredményezett.

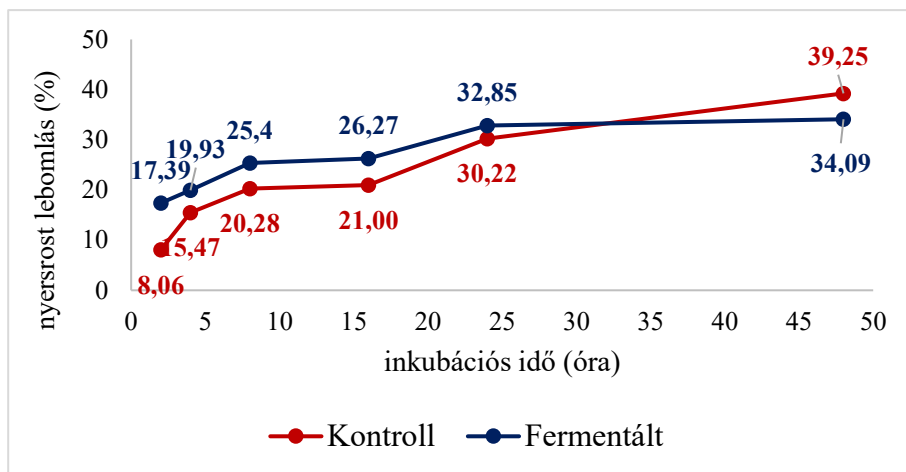
A kapott eredmények szakirodalmi adatokkal is összhangban állnak. Feizi és mtsai. (2020) fermentált szójadara vizsgálatok során szintén az a-frakció növekedéséről számoltak be. Ez magyarázhatja, hogy vizsgálatunkban az a-frakció aránya 7,90%-ról 19,48%-ra emelkedett.

A fermentáció ugyanakkor átalakíthatta a visszamaradó fehérjefrakciók összetételét is, ami hozzájárulhatott a b-frakció számszerűen kisebb lebomlási sebességéhez és a hosszabb inkubációs időpontokban mért kisebb fehérjelebonthatósághoz. Wongnen és mtsai. (2009) megfigyelése szerint a TMR fermentálása nem befolyásolta a bendőben képződő ammónia-N mennyiségét, ami arra utal, hogy a tejelő tehenekkel végzett vizsgálatban nem gyakorolt számottevő hatást a fehérje bendőbeli lebonthatóságára. Ugyanakkor Zhang és mtsai. (2020) tejelő tehenekkel végzett vizsgálatukban arról számoltak be, hogy a fermentálás növelte a gyorsan lebomló (a) és csökkentette a lassan lebomló (b) fehérjefrakció arányát. A fermentált keverék fehérjéjének lebomlási együtthatója (dg =degradabilitás) szignifikánsan magasabb volt, ennek megfelelően az UDP (bendőben le nem bomló fehérje) részaránya csökkent, mind a fermentálatlan keverékhez, mind a lucernaszénához viszonyítva. A fermentált TMR etetése növelte az ammónia-N koncentrációját, csökkentette a bélsár N-tartalmát, csökkent az N-retenció, és növekedett a vizelet és a tej karbamid-eredetű N-tartalma. Gazdasági szempontból a fermentált TMR etetése kedvezőbb takarmányozási költségekkel járt.

A nyersrost bendőbeli lebonthatósága változatosabb tendenciát mutatott, mint a szárazanyag vagy a nyersfehérje esetében (4. ábra). Az első 24 órás inkubációs időszakban a fermentált takarmány nyersrostjának lebomlása minden vizsgált időpontban meghaladta a kontrollét. A legnagyobb eltérés a 2 órás inkubációt követően volt megfigyelhető, amikor a fermentált takarmány nyersrostjának 17,39%-a, míg a kontroll takarmányának csupán 8,06%-a bomlott le. Az inkubáció előrehaladtával a két kezelés közötti különbség fokozatosan

csökkent, azonban 24 óráig a fermentált takarmány minden esetben magasabb lebomlási értékeket mutatott.

4. ábra: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek nyersrostjának *in sacco* lebomlása különböző inkubációs időkben szarvasmarhákban



Az Ørskov–McDonald-modell alapján számított nyersrost-lebonthatósági paramétereket a 14. táblázat mutatja be. A gyorsan lebomló rész (a) aránya a fermentált takarmányban magasabb volt (9,84%), mint a kontrollban (7,14%), azonban a különbség nem bizonyult statisztikailag szignifikánsnak ($p=0,094$). Ezzel szemben a b-frakció aránya a kontroll takarmányban szignifikánsan nagyobb volt (41,36%), mint a fermentált mintában (34,32%; $p=0,042$). A lassan lebomló frakció óránkénti bontási sebességét jellemző c-érték a fermentált kezelésben magasabbnak bizonyult (0,11%/óra), mint a kontrollban (0,05%/óra), azonban a különbség statisztikailag nem volt igazolható ($p=0,150$).

A tényleges bendőbeli lebomlás Az 5%/óra átfolyási sebességnél 31,81% volt, míg a kontroll esetében 27,00% ($p=0,002$). Hasonló tendencia volt megfigyelhető 8%/óra átfolyási sebesség mellett is, ahol

a fermentált takarmányé 28,17%, míg a kontrollé pedig 22,37% volt ($p=0,002$).

14. táblázat: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek nyersrost-lebomlási eredményei az Ørskov–McDonald-modell alapján szarvasmarhákban

	K ¹	F ²	SEM ³	<i>p</i> érték
a ⁴ (% sz.a.)	7,14	9,84	0,008	0,094
b ⁵ (% sz.a.)	41,36 ^a	34,32 ^b	0,18	0,042
c ⁶ (%/óra)	0,05	0,11	0,02	0,15
ED-5 (%) ⁷	27,00 ^b	31,81 ^a	1,001	0,002
ED-8 (%) ⁷	22,37 ^b	28,17 ^a	1,205	0,002

¹ K=kontroll keverék.

² F=fermentált keverék.

³ SEM:az átlag standard hibája.

^{a, b} az azonos soron belül eltérő felső indexű átlagok szignifikánsan különböznek ($p < 0,05$).

⁴ a=gyorsan lebomló hányad.

⁵ b=lassan lebomló hányad.

⁶ c=a lassan lebomló rész bontási sebessége óránként.

⁷ ED=tényleges bendőbeli lebomlás, 5%/óra és 8%/óra kiürülési ráták alkalmazásával számítottuk.

A kapott eredmények alapján úgy tűnik, hogy a fermentáció során a takarmány sejtfalának szerkezete részben fellazulhat, a hemicellulóz egy része lebomolhat, illetve a rostfrakció a bendőmikrobák számára könnyebben hozzáférhetővé válhat. Emiatt a fermentált takarmányból a rost korai lebomlása gyorsabb lehet, ami akkor jelent előnyt, amikor a takarmány viszonylag rövid ideig tartózkodik a bendőben. Ennek következtében 5 és 8%/óra kiáramlási sebességnél a fermentált takarmányból a rost nagyobb hányada bomlik le még azelőtt, hogy a takarmány elhagyná a bendőt, ezért az effektív lebonthatóság szignifikánsan nagyobb. Ebből arra következtethetünk, hogy a

fermentálás kedvezően befolyásolja a takarmány nyersrost-tartalmának bendőbeli lebonthatóságát intenzív és kevésbé intenzív takarmányozás mellett is. Li és mtsai. (2023) ferulil-észteráz termelő *Lactiplantibacillus plantarum* alkalmazásával végzett fermentáció során szignifikáns NDF-, ADF-, cellulóz- és lignintartalom-csökkenést figyeltek meg, amelyhez nagyobb in vitro emészthetőség és fokozott bendőgáz-termelés társult. A szerzők szerint a fermentáció során bekövetkező sejtfal-átalakulás megkönnyíti a bendőmikrobák hozzáférését a strukturális szénhidrátokhoz, ezáltal javítva azok degradációját. Hasonló mechanizmust írt le Bureenok és mtsai. (2011) is, akik fermentált fűszilázs etetése mellett ugyan nem tapasztaltak jelentős változást az NDF- és ADF-tartalomban, ugyanakkor nőtt a nyersfehérje emészthetősége és a cellulolitikus baktériumok száma. Ez arra utal, hogy a fermentáció kedvező hatása nem feltétlenül a rostfrakció mennyiségi csökkenéséből, hanem annak jobb hozzáférhetőségéből és a bendő mikrobiális aktivitásának fokozódásából ered.

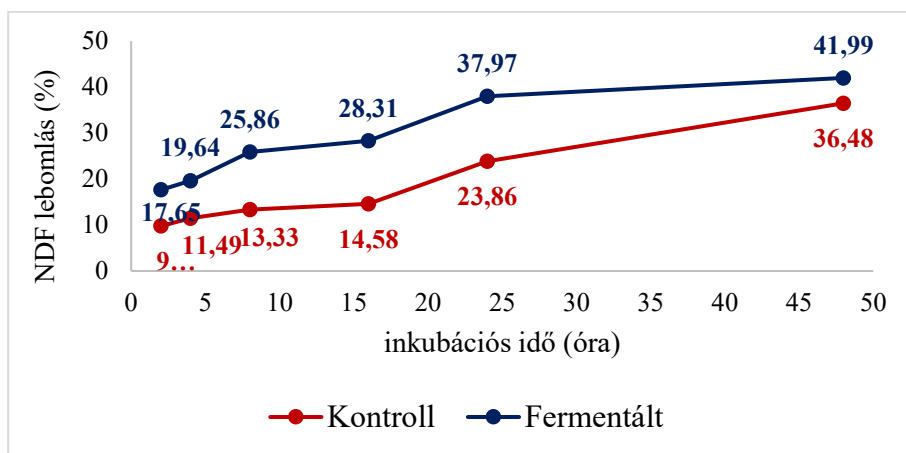
A fermentáció pozitív hatását támasztja alá Zhang és mtsai. (2025) vizsgálata is, amelyben a fermentált rizskorpa etetése növelte az NDF emészthetőségét, fokozta a mikrobiális fehérjeszintézist, valamint kedvezően befolyásolta a bendő fermentációs folyamatait. A szerzők szerint a fermentáció során bekövetkező sejtfalszerkezeti változások és a mikrobiális aktivitás fokozódása együttesen javították a rostok hasznosulását.

Az eredményeink ezzel összhangban arra utalnak, hogy a fermentáció a nyersrost bendőbeli lebomlását elsősorban a sejtfal szerkezetének módosításán és a cellulózbontó mikroorganizmusok számára

kedvezőbb fermentációs környezet kialakításán keresztül befolyásolhatja.

A nyersrost bendőbeli lebonthatóságának vizsgálata során arra is kíváncsiak voltunk, hogy a cellulózt és hemicellulózt magában foglaló rostfrakció (NDF) lebomlása hogyan alakul az egyes kezelésekben.

5. ábra: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek NDF-jének *in sacco* lebomlása különböző inkubációs időkben szarvasmarhákban



Az *in sacco* vizsgálatok eredményei (5. ábra) azt mutatták, hogy a fermentált takarmány NDF-tartalmának bendőbeli lebomlása valamennyi inkubációs időpontban nagyobb volt, mint a kontroll takarmányé. A különbség már a 2 órás inkubációt követően megfigyelhető volt (17,65% vs. 9,77%), és a fermentált kezelés előnye a teljes vizsgálati idő alatt fennmaradt. Az inkubáció előrehaladtával az NDF lebomlása mindkét kezelésben folyamatosan növekedett, azonban a fermentált takarmányban gyorsabb ütemben emelkedett. A legnagyobb eltérést a 24 órás inkubáció során mértük, amikor a fermentált takarmány NDF-tartalmának 37,97%-a, míg a kontroll mintáénak csupán 23,86%-a bomlott le. A 48 órás inkubáció végére a

lebomlás tovább növekedett mindkét kezelésben, azonban a fermentált takarmányban továbbra is magasabb értéket ért el (41,99%), mint a kontrollban (36,48%). Az eredmények alapján megállapítható, hogy a fermentáció kedvezően befolyásolta az NDF bendőbeli hozzáférhetőségét, ezáltal elősegítette annak gyorsabb és nagyobb mértékű mikrobiális lebontását.

15. táblázat: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek NDF-lebomlási eredményei az Ørskov–McDonald-modell alapján szarvasmarhákban

	K ¹ (átlag)	F ² (átlag)	SEM ³	p érték
a ⁴ (% sz.a.)	6,01 ^b	9,90 ^a	0,008	0,003
b ⁵ (% sz.a.)	49,64	45,6	0,037	0,626
c ⁶ (%/óra)	0,018	0,047	0,008	0,076
ED-5 (%) ⁷	18,60 ^b	30,04 ^a	2,181	<0,001
ED-8 (%) ⁷	14,78 ^b	25,22 ^a	2,009	<0,001

¹ K=kontroll keverék.

² F=fermentált keverék.

³ SEM:az átlag standard hibája.

^{a, b} az azonos soron belül eltérő felső indexű átlagok szignifikánsan különböznek (p < 0,05).

⁴ a=gyorsan lebomló hányad.

⁵ b=lassan lebomló hányad.

⁶ c=a lassan lebomló rész bontási sebessége óránként.

⁷ ED=tényleges bendőbeli lebomlás, 5%/óra és 8%/óra kiürülési ráták alkalmazásával számítottuk.

Az Ørskov–McDonald-féle modell eredményei alapján a gyorsan lebomló NDF-frakció (a-frakció) aránya szignifikánsan nagyobb volt a fermentált takarmányban, mint a kontrollban (15. táblázat). Ezzel szemben a lassan lebomló frakció (b-frakció) nagyságában, valamint annak lebomlási sebességében (c) nem volt statisztikailag igazolható

különbség a két kezelés között, bár a fermentált takarmányban magasabb c-értéket mértünk.

A tényleges bendőbeli lebomlás ugyanakkor mindkét (5 és 8%/óra) vizsgált bendőbeli kiáramlási sebesség mellett nagyobb volt a fermentált takarmány esetében, sorrendben 30,04% és 25,22%, amelyek szignifikánsan meghaladták a kontroll takarmány megfelelő értékeit. Gyakorlati szempontból különösen fontos a 8%/óra kiáramlási sebességnél tapasztalt eredmény, ahol a fermentáció hatására az NDF effektív lebonthatósága 10,44 százalékponttal nőtt, ami a rostfrakció kedvezőbb bendőbeli hasznosulását jelzi.

Az eredményeink szerint a fermentáció szignifikánsan növelte az NDF gyorsan lebomló frakcióját, valamint a tényleges bendőbeli lebomlást. Ennek háttérében az állhat, hogy a fermentáció során a mikroorganizmusok és az általuk termelt hidrolitikus enzimek részben lebontják a növényi sejtfal szerkezetét, így a cellulóz- és hemicellulóz frakció a bendő mikroorganizmusai számára könnyebben hozzáférhetővé válik. A b-frakció nagysága ugyanakkor nem változott, ami arra utal, hogy a fermentáció elsősorban a rost hozzáférhetőségét javította.

Eredményeink összhangban vannak Hu és mtsai. (2023) megállapításaival, akik fermentált TMR vizsgálata során szintén azt találták, hogy a fermentáció növelte az NDF tényleges bendőbeli lebomlását, miközben javította a táplálóanyagok bendőbeli hasznosulását. A szerzők szerint a fermentáció során bekövetkező sejtfal-részleges lebomlás elősegíti az NDF és az ADF emészthetőségét. Hasonló következtetésre jutottak Zhang és mtsai. (2025), akik mikrobiálisan fermentált rizskorpa etetése mellett nagyobb

NDF-emészthetőséget, intenzívebb bendőfermentációt és jobb takarmányhasznosítást figyeltek meg. Vizsgálatuk szerint az NDF emészthetőségének növekedése együtt járt a cellulózbontó mikroorganizmusok aktivitásának fokozódásával és a bendőfermentáció javulásával. A fermentáció kedvező hatását a rostfrakciókra Li és mtsai. (2021) is igazolták, akik szerint a tejsavbaktériumokkal és celluláz enzimekkel végzett fermentáció csökkentette az NDF- és ADF-tartalmat, miközben növelte a gyorsan hozzáférhető szénhidrátfrakció arányát. Ez arra utal, hogy a fermentáció részlegesen feltárja a növényi sejtfal szerkezetét, ami kedvezőbb bendőbeli degradációt eredményez. Zhang és mtsai. (2020) pedig azt találták, hogy a fermentálás növeli mind az NDF-, mind az ADF-tartalom bendőbeli lebomlását tejelő teheneknél. Ugyanakkor más kutatók (Wongnen és mtsai., 2009) korábbi vizsgálatban azt tapasztalták, hogy a fermentált TMR NDF emészthetősége nem különbözött a fermentálás nélküli TMR NDF emészthetőségétől. Ugyanezt találták az ADF vizsgálatok is.

5.2.2. A bendőfermentációs kísérlet eredményei és értékelése

A bendőfolyadék pH-értékének és ammónia-nitrogén ($\text{NH}_3\text{-N}$) koncentrációjának alakulását a kontroll, valamint az 1 kg (Ferm1) és 2 kg (Ferm2) fermentált takarmányt tartalmazó kezelésekben, a kezelés, a mintavételi időpont és ezek kölcsönhatásának függvényében vizsgáltuk. Az eredményeket a 16. táblázat foglalja össze.

16. táblázat: A bendőfolyadék pH-értékének és ammónia-nitrogén (NH₃-N) koncentrációjának alakulása a kontroll-, Ferm1- és Ferm2 takarmányt fogyasztó szarvasmarhákban (n = 6/kezelés/időpont)

	K ¹	Ferm1 ²	Ferm2 ³	SEM ⁴	p érték
pH					
etetés előtt	6,92 ^a	6,60 ^b	6,56 ^b	0,0407	0,001
etetés után 3 órával	6,59 ^a	6,30 ^b	6,38 ^{ab}	0,0389	0,004
etetés után 6 órával	6,66 ^a	6,34 ^b	6,58 ^{ab}	0,0433	0,006
kezelés					0,001
mintavétel					0,001
kezelés×mintavétel					0,271
Ammónia-N (mg N/100 ml)					
etetés előtt	1,5774	1,5800	1,7201	0,0493	0,517
etetés után 3 órával	1,6585	0,5895	0,3539	0,0446	0,097
etetés után 6 órával	1,0379 ^a	0,7372 ^b	0,8469 ^b	0,0362	0,002
kezelés					0,069
mintavétel					0,001
kezelés x mintavétel					0,204

¹ K=kontroll takarmány.

² Ferm1=1 kg fermentált takarmányt tartalmazó keverék.

³ Ferm2=2 kg takarmányt tartalmazó keverék.

⁴ SEM: az átlag standard hibája.

^{a,b} a különböző betűvel jelölt értékek azonos soron belül min p<0,05 szinten szignifikáns.

A pH értékek alapján megállapítható, hogy a bendő pH változása kis mértékű volt (0,18-0,33) mind a kontroll, mind a fermentált takarmány etetésekor az etetés előtti és az etetés utáni 6 órában. A kontroll csoport pH-ja valamennyi mintavételi időpontban magasabb volt, mint a fermentált takarmányt fogyasztó csoportoké. Etetés előtt a kontroll csoport pH-ja (6,92) szignifikánsan meghaladta a Ferm1 (6,60) és a Ferm2 (6,56) csoport értékét (p<0,001). Az etetést követő 3. és 6. órában a kontroll és a Ferm1 kezelés között továbbra is szignifikáns

különbség mutatkozott, míg a Ferm2 csoport egyik időpontban sem különbözött a Ferm1 kezeléstől. Ez azt mutatja, hogy a fermentált takarmány 1 kg-ról 2 kg-ra történő növelése a pH változást nem befolyásolta.

Az ismételt mérések alapján a kezelés és a mintavételi időpont is szignifikáns hatást gyakorolt a pH-ra ($p < 0,001$), ugyanakkor a kezelés $\times$ mintavételi időpont kapcsolat nem volt szignifikáns ($p = 0,271$). A bendőfolyadék ammónia-nitrogén ($\text{NH}_3\text{-N}$) koncentrációja etetés előtt nem különbözött szignifikánsan a kezelések között. Az etetést követő 3. órában a kontroll csoportban magasabb (1,66 mg N/100 ml), míg a Ferm1 (0,59 mg N/100 ml) és a Ferm2 (0,35 mg N/100 ml) csoportban alacsonyabb $\text{NH}_3\text{-N}$ koncentrációt mértünk, azonban a különbség nem volt szignifikáns. A 6. órában a kontroll csoport $\text{NH}_3\text{-N}$ koncentrációja (1,04 mg N/100 ml) szignifikánsan magasabb volt, mint a Ferm1 (0,74 mg N/100 ml) és a Ferm2 (0,85 mg N/100 ml) csoportoké ($p = 0,002$). A mintavételi időpont szignifikáns hatást gyakorolt az $\text{NH}_3\text{-N}$ koncentrációra ($p < 0,001$), míg sem a kezelés hatása, ($p = 0,069$), sem a kezelés $\times$ mintavételi időpont kapcsolat ($p = 0,204$) nem bizonyult szignifikánsnak.

A fermentált takarmány etetése mérsékelten csökkentette a bendőfolyadék pH-ját, azonban az értékek minden esetben a bendő normál működéséhez kedvező fiziológiás tartományban maradtak. Az $\text{NH}_3\text{-N}$ koncentrációban a fermentált kezelések alacsonyabb értékeket eredményeztek, különösen az etetést követő 6. órában, ami a bendő nitrogénforgalmának módosulására utalhat, ugyanakkor a kezelés hatása nem bizonyult szignifikánsnak. Az eredmények alapján a

fermentált takarmány alkalmazása mellett a bendő fermentációs stabilitása megőrizhető volt.

A bendőfolyadék mikrobiális aktivitása a bendőmikroorganizmusok metabolikus aktivitását tükrözi, vagyis azt, hogy azok milyen intenzitással vesznek részt a takarmány fermentációjában és a tápanyagok lebontásában. A mikrobiális aktivitást Horváth (1979) módszere alapján nitrátredukációs próbával határoztuk meg, amely a bendőmikrobák nitrátredukáló képességének mérésén alapul, és közvetett módon jellemzi a bendő mikrobiális közösségének aktivitását. Minél alacsonyabb az érték, annál aktívabb a mikrobiális bontás. A vizsgálatot három különböző nitrát koncentráció (0,2; 0,5; 0,7 mg/ml) alkalmazásával végeztük a reggeli etetés előtt, valamint az etetést követő 3. és 6. órában. Az eredményeket a 17. táblázat mutatja be.

Etetés előtt egyik nitritkoncentráció esetében sem mutatkozott szignifikáns különbség a kezelések között. Az etetést követő 3. órában 0,2 mg/ml nitrát-koncentrációnál nem volt kimutatható szignifikáns eltérés, míg 0,5 mg/ml nitrát-koncentráció mellett a Ferm1 (7,0) és a kontroll (8,1) csoport szignifikánsan ($p=0,002$) kedvezőbb értéket mutatott a Ferm2 csoport mikrobiális aktivitásához (9,7) képest. A 0,7 mg/ml nitrát-koncentráció esetében a Ferm1 csoport aktivitása (9,2) szignifikánsan ($p=0,009$) jobb volt a másik két csoportnál. (kontroll:10,4; Ferm2 11,3).

Az etetést követő 6. órában 0,2 mg/ml nitrit-koncentráció mellett a kontroll csoport mikrobiális aktivitása (5,4) szignifikánsan ($p=0,013$) gyengébb volt, mint a fermentált takarmányok etetésekor (Ferm1 3,8; Ferm2 4,2).

17. táblázat: A bendőfolyadék mikrobiális aktivitásának alakulása különböző nitrítkoncentrációk mellett a kontroll-, Ferm1- és Ferm2 takarmányt fogyasztó szarvasmarhákban (n = 6/kezelés/időpont).

	K ¹	Ferm1 ²	Ferm2 ³	SEM ⁴	p érték
Etetés előtt					
nitrát 0,2	4,0	5,25	3,91	0,2406	0,056
nitrát 0,5	7,4	7,4	7,8	0,2825	0,804
nitrát 0,7	9,3	10,8	9,1	0,3483	0,122
3 óra etetés után					
nitrát 0,2	4,9	3,8	4,6	0,2125	0,094
nitrát 0,5	8,1 ^b	7,0 ^b	9,7 ^a	0,2881	0,002
nitrát 0,7	10,4 ^a	9,2 ^b	11,3 ^a	0,2635	0,009
6 óra etetés után					
nitrát 0,2	5,4 ^a	3,8 ^b	4,2 ^b	0,2494	0,013
nitrát 0,5	7,8 ^a	6,2 ^b	8,9 ^a	0,3158	0,004
nitrát 0,7	9,8	8,9	10,3	0,3137	0,262
nitrát 0,2					
kezelés					0,147
mintavétel					0,993
kezelés x mintavétel					0,003
nitrát 0,5					
kezelés					0,001
mintavétel					0,164
kezelés x mintavétel					0,168
nitrát 0,7					
kezelés					0,415
mintavétel					0,316
kezelés x mintavétel					0,010

¹ K=kontroll takarmány.

² F1=1 kg fermentált takarmányt tartalmazó keverék.

³ F2=2 kg takarmányt tartalmazó keverék.

⁴ SEM: az átlag standard hibája.

^{a,b} a különböző betűvel jelölt értékek azonos soron belül min p<0,05 szinten szignifikáns.

A 0,5 mg/ml nitritkoncentráció esetében szintén a Ferm1 csoport értéke volt szignifikánsan ($p=0,004$) kedvezőbb (6,2), míg 0,7 mg/ml nitrát-koncentrációnál nem volt szignifikáns különbség a kezelések között.

A 0,2 mg/ml nitrát-koncentráció esetén a kezelés×mintavételi időpont kapcsolat szignifikáns volt ($p=0,003$), míg a kezelés és a mintavételi időpont főhatása nem bizonyult szignifikánsnak. A 0,5 mg/ml nitrát-koncentráció mellett a kezelés szignifikáns hatást gyakorolt a mikrobiális aktivitásra ($p<0,001$), ugyanakkor a mintavételi időpont és az interakció nem volt szignifikáns. A 0,7 mg/ml nitritkoncentráció esetében szintén szignifikáns kezelés×mintavételi időpont kapcsolat volt kimutatható ($p=0,010$).

A bendőfolyadék mikrobiális aktivitása a különböző nitrát-koncentrációk mellett a kezelés és a mintavételi időpont függvényében változott. Etetés előtt egyik nitritkoncentráció esetében sem mutatkozott szignifikáns különbség a kezelések között. Az etetést követően azonban több időpontban szignifikáns eltérések jelentkeztek. A 0,5 mg/ml nitrát-koncentráció mellett a kezelés szignifikáns hatást gyakorolt a mikrobiális aktivitásra, míg 0,2 és 0,7 mg/ml nitrát-koncentrációnál a kezelés és a mintavételi időpont közötti kölcsönhatás bizonyult szignifikánsnak.

Az eredmények alapján az látszik, hogy az 1 kg fermentált takarmány etetése kedvezően hatott a mikrobiális aktivitásra, de nem minden nitrát-koncentráció esetében volt szignifikáns a változás. A 2 kg fermentált takarmány etetésekor tapasztalt változások a kontroll takarmányhoz voltak hasonlók.

18. táblázat: Az illózsírsav összetétel alakulása a kontroll-, Ferm1- és Ferm2 takarmányt fogyasztó szarvasmarhákban (n = 6/kezelés/időpont)

	K ¹	Ferm1 ²	Ferm2 ³	SEM ⁴	p érték
Etetés előtt					
Ecetsav (C2; mg/ml)	1,6009 ^a	1,7634 ^a	1,1777 ^b	0,068	0,002
Propionsav (C3; mg/ml)	0,3743	0,2922	0,3007	0,021	0,196
Izovajsav (iC4; mg/ml)	0,8754	1,1393	0,9167	0,172	0,796
Vajsav (C4; mg/ml)	0,2442	0,2104	0,2329	0,023	0,838
Izovaleriánsav (iC5; mg/ml)	1,6678	1,6224	1,3497	0,134	0,613
Valeriánsav (C5; mg/ml)	0,0567 ^b	0,3419 ^a	0,2513 ^{ab}	0,041	0,002
Összes illózsírsav (mg/ml)	4,3266 ^{ab}	5,0437 ^a	3,2556 ^b	0,241	0,018
C2:C3 arány	4,85 ^b	6,14 ^a	4,04 ^b	0,207	-
3 óra etetés után					
Ecetsav (C2; mg/ml)	1,5638 ^a	1,8643 ^a	1,0776 ^b	0,097	0,015
Propionsav (C3; mg/ml)	0,4901	0,4514	0,3446	0,034	0,242
Izovajsav (iC4; mg/ml)	0,7077	1,433	0	0,156	0,017
Vajsav (C4; mg/ml)	0,3205	0,3832	0,2146	0,035	0,233
Izovaleriánsav (iC5; mg/ml)	1,1523	1,0678	0,7077	0,083	0,106
Valeriánsav (C5; mg/ml)	1,1710 ^a	0,4943 ^b	0,0936 ^c	0,039	-
Összes illózsírsav (mg/ml)	4,0080 ^a	5,2192 ^a	2,4383 ^b	0,294	0,003
C2:C3 arány	3,3065 ^b	4,44 ^a	3,22 ^b	0,142	-
6 óra etetés után					
Ecetsav (C2; mg/ml)	1,4844 ^b	1,9410 ^a	1,2125 ^b	0,082	0,003
Propionsav (C3; mg/ml)	0,3653	0,3969	0,3526	0,026	0,812
Izovajsav (iC4; mg/ml)	0,8307	1,2782	-	0,168	0,234
Vajsav (C4; mg/ml)	0,3612	0,3176	0,1984	0,039	0,239
Izovaleriánsav (iC5; mg/ml)	0,6812	0,7727	0,748	0,064	0,823
Valeriánsav (C5; mg/ml)	0,3031 ^{ab}	0,5322 ^a	0,0556 ^b	0,057	0,007
Összes illózsírsav (mg/ml)	3,4383 ^b	4,5040 ^a	2,5671 ^b	0,216	0,004
C2:C3 arány	4,29 ^{ab}	5,14 ^a	3,73 ^b	0,212	0,044

¹ K=kontroll takarmány.

² F1=1 kg fermentált takarmányt tartalmazó keverék.

³ F2=2 kg takarmányt tartalmazó keverék.

⁴ SEM: az átlag standard hibája.

^{a,b} a különböző betűvel jelölt értékek azonos soron belül min $p < 0,05$ szinten szignifikáns.

A bendőfolyadék illózsírsav-összetételét a kontroll, valamint az 1 kg (Ferm1) és 2 kg (Ferm2) fermentált takarmányt fogyasztó csoportokban etetés előtt, valamint az etetést követő 3. és 6. órában is vizsgáltuk. Az eredményeket a 18. táblázat szemlélteti.

Az ecetsav (C2) koncentrációját a kezelés minden mintavételi időpontban szignifikánsan befolyásolta ($p < 0,05$). Etetés előtt a Ferm1 csoportban mértük a legmagasabb értéket (1,76 mmol/l), amely szignifikánsan meghaladta a Ferm2 csoportét (1,18 mmol/l), míg a kontroll köztes értéket mutatott ($p = 0,002$) és szignifikánsan különbözött a Ferm2-től. Hasonló tendencia volt megfigyelhető az etetést követő 3. és 6. órában is, amikor a Ferm1 csoport ecetsav-koncentrációja rendre 1,86, illetve 1,94 mg/ml volt, és mindkét esetben szignifikánsan magasabbnak bizonyult a Ferm2 csoporthoz képest ($p = 0,015$; $p = 0,003$).

A propionsav (C3) koncentrációját egyik mintavételi időpontban sem befolyásolta szignifikánsan a kezelés ($p > 0,05$), bár a Ferm2 csoportban minden esetben numerikusan alacsonyabb értékeket mértünk.

Az izovajsav (iC4) koncentrációja etetés előtt nem különbözött a kezelések között ($p = 0,796$), azonban az etetést követő 3. órában szignifikáns eltérés alakult ki ($p = 0,017$), amikor a Ferm1 csoportban volt a legmagasabb koncentráció (1,43 mg/ml), míg a Ferm2 csoportban az izovajsav nem volt kimutatható. Hat órával az etetést követően a különbség már nem volt szignifikáns.

A vajsav (C4) és az izovaleriánsav (iC5) koncentrációját egyik mintavételi időpontban sem befolyásolta szignifikánsan a kezelés ($p>0,05$). Ezzel szemben a valeriánsav (C5) koncentrációja minden időpontban szignifikáns különbséget mutatott ($p\leq 0,007$). Etetés előtt a Ferm1 csoportban mértük a legmagasabb koncentrációt (0,34 mg/ml), míg a kontrollban a legalacsonyabbat (0,06 mg/ml). Az etetést követő 3. órában a kontroll csoport értéke volt a legmagasabb (1,17 mg/ml), ezt követte a Ferm1 (0,49 mg/ml), míg a Ferm2 csoportban szignifikánsan alacsonyabb koncentrációt mértünk (0,09 mg/ml). Hat órával az etetés után ismét a Ferm1 csoport mutatta a legmagasabb értéket (0,53 mg/ml), amely szignifikánsan meghaladta a Ferm2 csoportét.

Az összes illózsírsav koncentrációját szintén szignifikánsan befolyásolta a kezelés minden mintavételi időpontban ($p<0,05$). Etetés előtt a Ferm1 csoportban volt a legmagasabb összes illózsírsav-koncentráció (5,04 mg/ml), míg a Ferm2 csoportban a legalacsonyabb (3,26 mg/ml). Az etetést követő 3. órában a Ferm1 (5,22 mg/ml) és a kontroll (4,01 mg/ml) között nem volt szignifikáns különbség, ugyanakkor mindkettő meghaladta a Ferm2 csoport értékét (2,44 mg/ml). Hasonló tendencia volt megfigyelhető a 6. órában is, amikor a Ferm1 csoportban mért 4,50 mg/ml koncentráció szignifikánsan magasabb volt, mint a kontroll (3,44 mg/ml) és a Ferm2 (2,57 mg/ml) csoportokban.

Az ecetsav:propionsav (C2:C3) arány etetés előtt szintén szignifikánsan magasabbnak bizonyult a Ferm1 csoportban (6,14), mint a kontrollban (4,85) és a Ferm2 csoportban (4,04) ($p<0,001$), ami az ecetsavképződés relatív túlsúlyára utal.

Az eredmények alapján a fermentált takarmány hatása mindhárom mintavételi időpontban a nagyobb ecetsav- és összes illózsírsav-koncentráció, ami a bendő mikrobiális fermentációjának fokozódására utal. Hasonló eredményről számoltak be Zhang és mtsai. (2023) is, akik fermentált TMR etetése mellett szignifikánsan magasabb összes illózsírsav- és ecetsav-koncentrációt, valamint kedvezőbb bendőmikrobiális összetételt figyeltek meg tejelő tehenekben. Az ecetsav növekedése arra utal, hogy a fermentált takarmány kedvezően befolyásolta a cellulózbontó mikroorganizmusok aktivitását és a rostfermentáció intenzitását.

A propionsav koncentrációja ugyanakkor nem változott szignifikánsan, ami arra utal, hogy a fermentált takarmány elsősorban a rostfermentációt serkentette, miközben a fermentáció alapvető iránya nem módosult. Lee és mtsai. (2023) fermentált abrakkal végzett vizsgálatukban szintén az ecetsav:propionsav arány növekedését és a bendő fermentációs mintázatának módosulását figyelték meg, amelyet a bendőmikrobiom kedvező átalakulásával hoztak összefüggésbe. Ezzel szemben a 2 kg-os adag (Ferm2) minden mintavételi időpontban alacsonyabb ecetsav- és összes illózsírsav-koncentrációt eredményezett, mint a kontroll, ami arra utal, hogy a nagyobb mennyiség már nem fokozta tovább a fermentáció intenzitását. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált körülmények között az 1 kg fermentált takarmány biztosította a legkedvezőbb bendőfermentációs választ, míg a nagyobb adag nem jelentett további előnyt.

5.3. Tejelő tehenekkel végzett üzemi vizsgálat eredményei

A fermentált abrak-keverék takarmányadagba történő beépítésének tejtermelésre és tejösszetételre gyakorolt hatását a 19. táblázat szemlélteti. A fermentált abrak-keverék 3,32%-os szárazanyagarányban történő alkalmazása kedvezően befolyásolta a tejelő tehenek termelési eredményeit.

19. táblázat: A fermentált abrak-keverék etetésének hatása az átlagos napi tejhozamra és a tej összetételére az üzemi vizsgálatban (n = 24/kezelés).

	K ¹	F ²	SEM ³	P érték
Tejtermelés				
Átlagos napi tejtermelés (kg/tehen/nap)	36,1 ^b	37,2 ^a	0,13	0,001
3,5% FCM ⁴ (kg/nap)	45,2	45,7	0,15	0,120
ECM ⁵ (kg/nap)	44,7 ^b	45,5 ^a	0,14	0,024
Tej összetétele				
Zsír (%)	5,05	4,92	0,07	0,430
Fehérje (%)	3,59	3,60	0,02	0,947
Laktóz (%)	4,75 ^b	4,83 ^a	0,02	0,011
Karbamid (mg/100ml)	16,81	16,38	0,39	0,543
Szomatikus sejtszám (×10 ³ /ml)	181	97	32	0,368
Tejkomponens hozam (kg/nap)				
Zsír	1,82	1,83	0,03	0,855
Fehérje	1,30	1,34	0,01	0,234
Laktóz	1,72 ^b	1,80 ^a	0,02	0,016

¹ K=kontroll kezelés.

² F=fermentált kezelés.

⁴ SEM: az átlag standard hibája.

^{a,b} a különböző betűvel jelölt értékek azonos soron belül min p<0,05 szinten szignifikáns.

⁴ 3,5% FCM tej=[(0,4324 × tej kg) + (16,216 × tejszír kg)].

⁵ ECM tej=[(0,327 × tej kg) + (12,95 × tejszír kg) + (7,20 × tejfehérje kg)].

A napi tejhozam a kísérleti csoportban szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontroll csoportban (37,2 vs. 36,1 kg/nap), ami átlagosan 1,1 kg/tehén/nap növekedést jelentett ($p = 0,001$).

Hasonlóan, az energiatartalomra korrigált tejhozam (ECM) is szignifikánsan növekedett a fermentált takarmány etetésének hatására (45,5 vs. 44,7 kg/nap), amely 0,8 kg/tehén/nap növekedésnek felelt meg ($p=0,024$). Ugyanakkor a 3,5%-os zsírtartalomra korrigált tejhozam (FCM) esetében nem volt statisztikailag igazolható különbség a két kezelés között (45,7 vs. 45,2 kg/nap; $p=0,12$).

A tej összetételének vizsgálata során a zsír-, fehérje- és karbamidtartalom, valamint a szomatikus sejtszám tekintetében nem mutatkozott szignifikáns eltérés a kontroll és a kísérleti csoport között ($p > 0,05$). Ugyanakkor a tej laktóztartalma szignifikánsan emelkedett a fermentált abrak-keveréket fogyasztó teheneknél, 4,75%-ról 4,83%-ra ($p=0,011$), ami egyben a napi laktóz termelés szignifikánsan nagyobb (1,80 kg/nap vs. 1,72 kg/nap, $p=0,016$) mennyiségét is jelentette.

A tejkomponensek közül a zsír- és fehérjehozam nem különbözött szignifikánsan a két csoport között ($p>0,05$).

A fermentált abrak-keverék etetésének hatására a 1,1 kg/tehén/nap tejhozam-növekedés és a szignifikánsan nagyobb ECM arra utal, hogy a fermentáció javította a táplálóanyagok bendőbeli hasznosulását és az állatok energiaellátását. A fermentáció során a mikroorganizmusok részben lebontják a nehezebben emészthető takarmánykomponenseket, növelik a táplálóanyagok hozzáférhetőségét, valamint kedvezően módosítják a bendő mikrobiális összetételét. Ennek eredményeként fokozódhat az illózsírsav-termelés, különösen a propionsav képződése, amely a kérődzők legfontosabb glükóz-prekurzora. A nagyobb

glükózellátás több energiát biztosít a tejszintézishez, ami magasabb tejhozamot és ECM-et eredményezhet. Ezt támasztják alá Zhang és mtsai. (2025), akik fermentált rizskorpa etetése mellett a tejhozam, az FCM és az ECM szignifikáns növekedését, valamint javuló NDF-emészthetőséget, nagyobb mikrobiális fehérje-termelést és magasabb propionsav-koncentrációt figyeltek meg.

A tej zsír- és fehérjetartalmának változatlansága arra utal, hogy a fermentált abrak-keverék elsősorban a tej mennyiségét növelte, miközben a tej beltartalmi paramétereit nem módosította. Hasonló eredményeket közöltek Wang és mtsai. (2021), akik szerint a fermentált szójadara alkalmazása javítja a táplálóanyagok hasznosulását és a bendő mikrobiális működését anélkül, hogy jelentősen megváltoztatná a tej fő összetevőinek koncentrációját.

A tej laktóztartalmának és laktózhozamának szignifikáns növekedése élettanilag jól magyarázható. A bendőben képződő propionsav a májban glükózzá alakul, amely a laktóz szintézisének elsődleges prekursora. Mivel a laktóz a tej legfontosabb ozmotikusan aktív alkotóeleme, koncentrációja meghatározza a tejbe kiválasztott víz mennyiségét, így közvetlen kapcsolatban áll a tejhozammal. A fermentált takarmányok által kiváltott fokozott propionsav-termelés és a magasabb vércukorszint következtében növekedhet a laktózképződés, amely végső soron a tejtermelés emelkedéséhez vezet. Rodrigues és mtsai. (2023) metaanalízisükben kimutatták, hogy az élesztő-fermentációs termékek (yeast fermentation culture, YFC) alkalmazása javította a bendőfermentációt, a táplálóanyagok emészthetőségét, valamint növelte a tej laktóztartalmát. A szerzők ezt azzal magyarázták, hogy a YFC fokozta a bendőben képződő propionsav mennyiségét,

amely a kérődzők glükoneogenezisének legfontosabb prekursora. A májban képződő nagyobb mennyiségű glükóz fokozta a tejmirigy laktózsintézisét, ami magasabb tejlaktóz-tartalmat eredményezett. Hasonló összefüggésről számoltak be Zhang és mtsai. (2025) is, akik fermentált rizskorpa etetése során nagyobb bendőbeli propionsav-koncentrációt, emelkedett plazmaglükóz-szintet, valamint nagyobb tejhozamot, FCM- és ECM-hozamot figyeltek meg. A szerzők szerint a fokozott propionsav-termelés kedvezően befolyásolta a glükoneogenezist, ami javította a tejszintézis energiaellátását, és hozzájárult a nagyobb tejtermeléshez.

A tej karbamid-koncentrációjának változatlansága arra utal, hogy a fermentált abrak-keverék nem rontotta a bendő nitrogén- és energiaegyensúlyát.

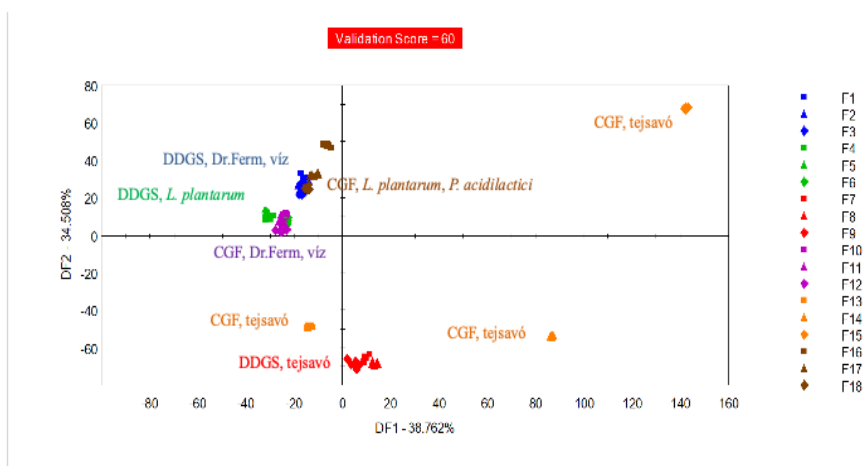
Bár a szomatikus sejtszám a fermentált abrakot fogyasztó teheneknél közel 46%-kal alacsonyabb volt (181 vs. 97×10^3 sejt/mL), a különbség statisztikailag nem volt igazolható ($p > 0,05$). A csökkenő tendencia ugyanakkor összhangban áll Amin és mtsai. (2022) megfigyeléseivel, akik fermentált szójadara etetése mellett alacsonyabb szomatikus sejtszámot, valamint nagyobb tejzsír- és tejfehérjehozamot tapasztaltak tejelő tehenekben.

5.4. Az elektronikus orral végzett vizsgálatok eredményei és értékelése a takarmányok minősítésében

Az elektronikus orr mérési eredményeinek diszkriminancia-analízisét (DFA) a 6. ábra mutatja. A módszer célja az előre definiált fermentációs kezelések aromaprofil alapján történő elkülönítése volt. Az első

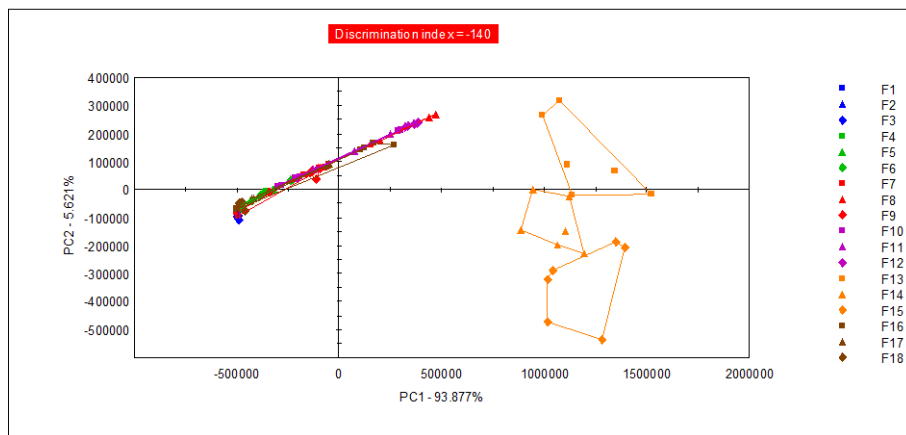
diszkriminancia-függvény (DF1) a variancia 38,76%, míg a második diszkriminancia-függvény (DF2) 34,51%-át magyarázta.

6. ábra: A különböző fermentációs kezelések elkülönülése diszkriminancia-analízis (DFA) alapján.



A három ismételtes minden kezelés esetében egymáshoz közel helyezkedett el, ami a fermentáció és a mérési módszer jó reprodukálhatóságát igazolja. A DDGS-V-R, DDGS-V-LP, DDGS-T és CGF-V-R kezelések részben átfedő csoportokat alkottak, ami hasonló aromaprofilra utal. Ezzel szemben a CGF-T és különösen a CGF-V-LP kezelések mintái a diszkriminancia-térben távolabb helyezkedtek el, jelezve, hogy ezek aromaprofilja jelentősebben eltért a többi kezelésétől. Az elektronikus orr által rögzített kromatográfias adatok főkomponens-analízisének eredményét a 7. ábra szemlélteti. Az első főkomponens (PC1) a teljes variancia 93,88%, míg a második főkomponens (PC2) 5,62%-át magyarázta, így az első két főkomponens együttesen a variancia 99,50%-át írta le.

7. ábra. A különböző fermentációs kezelések aromaprofiljának összehasonlítása főkomponens-analízissel (PCA).



A PCA-ábrán megfigyelhető, hogy a DDGS-V-R (F1–F3), DDGS-V-LP (F4–F6), DDGS-T (F7–F9), CGF-V-R (F10–F12) és CGF-V-LP (F16–F18) kezelések mintái nagymértékű átfedést mutattak, ami hasonló aromaprofilra utal. Ezzel szemben a CGF-T (F13–F15) kezelés mintái az első főkomponens mentén elkülönültek a többi kezeléstől, jelezve, hogy ebben a kezelésben az illékony vegyületek összetétele jelentősebben eltért.

A három ismétlés a legtöbb kezelés esetében egymáshoz közel helyezkedett el, ami a mérési módszer megfelelő reprodukálhatóságát igazolja. Ugyanakkor a CGF-T kezelésen belül nagyobb szóródás figyelhető meg, ami arra utalhat, hogy ennél a kezelésnél a fermentáció során nagyobb biológiai variabilitás alakult ki.

Az elektronikus orr eredményei alapján megállapítható, hogy a fermentáció során alkalmazott szubsztrát, a fermentációs közeg és a starterkultúra egyaránt befolyásolta a fermentált abrakkeverékek aromaprofilját. A PCA és a DFA eredményei szerint a DDGS-V-R, DDGS-V-LP, DDGS-T és CGF-V-R kezelések aromaprofilja hasonló

volt, míg a CGF-T és CGF-V-LP kezelések ettől elkülönültek, ami a fermentáció során képződő illékony vegyületek összetételének változására utal. A kezeléseken belüli ismétlések szoros csoportosulása a fermentációs eljárás és a mérési módszer jó reprodukálhatóságát igazolja, ugyanakkor a kezelések közötti részleges átfedések arra utalnak, hogy az elektronikus orr elsősorban a markáns aromaprofil-változások kimutatására alkalmas, míg a hasonló összetételű minták elkülönítése korlátozott lehet (Peris és Escuder-Gilabert, 2009; Wilson és Baietto, 2011).

Az eredmények összhangban állnak Leroy és De Vuyst (2004), valamint Smid és Kleerebezem (2014) megállapításaival, miszerint a tejsavbaktériumok fermentációja során képződő szerves savak, alkoholok, aldehidek és észterek jelentősen befolyásolják a fermentált termékek aromaprofilját. Hasonlóan, Chen és mtsai. (2020) is rámutattak arra, hogy ezek az illékony metabolitok alapvetően meghatározzák a fermentált termékek VOC-összetételét. Az RSL starterkultúrával fermentált DDGS- és CGF-alapú minták közötti különbségek feltehetően az eltérő szubsztrát-összetétel következményei, mivel a fehérje-, rost- és szénhidráttartalom jelentősen befolyásolja a mikroorganizmusok anyagcseréjét és a keletkező illékony vegyületek összetételét (McSweeney és Sousa, 2000). A tejsavó magas laktóztartalma ezzel szemben kedvező fermentációs közeget biztosíthat, amely egységesebb mikrobiális aktivitást és stabilabb aromaanyag-képződést eredményezhet (Panesar és Kennedy, 2012).

Vizsgálataink azt igazolták, hogy az elektronikus orr alkalmas a fermentált abrakkeverékek aromaprofiljának gyors összehasonlítására

és a fermentációs kezelések közötti különbségek kimutatására, ugyanakkor az egyes illékony vegyületek pontos azonosításához gázkromatográfiás–tömegspektrometriás vizsgálat szükséges (Wilson és Baietto, 2011).

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kutatás során végzett vizsgálatok eredményei alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

Juhokon végzett *in sacco* lebonthatósági vizsgálatok eredményei igazolták, hogy a tejsavbaktériumokkal fermentált abrakkeverék bendőbeli lebomlására a fermentáció elsősorban a lebomlás kinetikájának módosításán keresztül hat, nem pedig a táplálóanyagok teljes bendőbeli lebonthatóságának növelésével. A fermentáció szignifikánsan csökkentette a gyorsan lebomló szárazanyag- (35,51→29,99%) és nyersfehérje-frakció (37,61→32,06%) arányát, miközben az NDF lebomlásának késleltetési idejét 5,03 óráról 3,30 órára rövidítette, ami a rostfrakció gyorsabb mikrobiális kolonizációját jelzi.

Juhokon végzett bendőfermentációs vizsgálataink alapján megállapítást nyert, hogy a tejsavbaktériumokkal fermentált abrakkeverék etetése nem módosította szignifikánsan a bendőfermentáció fő paramétereit. A bendőfolyadék pH-ja (5,82–6,42), az ammónia-N koncentrációja (8,96–14,51 mmol/l), az összes illózsírsav-koncentráció (97,68–138,16 mmol/l), valamint az illózsírsavak moláris arányai és az ecetsav:propionsav arány (3,26–3,46) a kontroll- és a fermentált takarmányt fogyasztó juhok között egyik mintavételi időpontban sem különböztek szignifikánsan ($p > 0,05$). Az etetést követően megfigyelt átmeneti pH-csökkenés és illózsírsav-növekedés mindkét csoportban a bendőfermentáció zavartalan működését igazolta.

A szarvasmarhákön végzett *in sacco* bendőbeli lebonthatósági vizsgálatok igazolták, hogy a tejsavbaktériumokkal fermentált abrakkeverék kedvezően módosította a takarmány bendőbeli lebomlási dinamikáját. A fermentáció növelte a szárazanyag, a nyersfehérje, a nyersrost és az NDF gyorsan lebomló frakciójának arányát, miközben minden esetben szignifikánsan javította a tényleges bendőbeli lebonthatóságot. A hazai intenzív takarmányozási gyakorlat szempontjából meghatározó 8%/óra bendőbeli kiáramlási sebességnél a fermentált takarmány szárazanyag-, nyersfehérje-, nyersrost- és NDF-lebonthatósága 2,78; 7,02; 5,80 és 10,44 százalékponttal haladta meg a kontroll csoport értékét. Az eredmények arra utalnak, hogy a fermentáció elsősorban a táplálóanyagok bendőmikrobák számára való hozzáférhetőségét javította, ezáltal kedvezőbb bendőbeli táplálóanyag-hasznosulást eredményezett.

A szarvasmarhákön végzett bendőfermentációs vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a fermentált takarmány alkalmazása nem befolyásolta kedvezőtlenül a bendőfermentációs folyamatokat. Bár a fermentált takarmány etetése szignifikánsan csökkentette a bendőfolyadék pH értékét ($p < 0,001$), az értékek minden mintavételi időpontban a bendő normál fiziológiás tartományában maradtak. Az ammónia-nitrogén koncentrációját a mintavételi időpont szignifikánsan befolyásolta ($p < 0,001$), míg a kezelés hatása nem volt szignifikáns ($p = 0,069$), ugyanakkor a fermentált takarmány etetése mellett az etetést követően alacsonyabb $\text{NH}_3\text{-N}$ koncentrációk voltak megfigyelhetők. A mikrobiális aktivitást a fermentált takarmány a vizsgált nitrát-koncentrációtól és a mintavételi időponttól függően módosította; 0,5 mg/ml nitrát-koncentráció mellett a kezelés szignifikáns hatást

gyakorolt ($p < 0,001$), míg 0,2 és 0,7 mg/ml nitrát-koncentrációnál a kezelés és a mintavételi időpont közötti kölcsönhatás bizonyult szignifikánsnak ($p = 0,003$, illetve $p = 0,010$). Az illózsírsav-vizsgálatok alapján naponta és állatonként 1 kg fermentált takarmány etetése minden mintavételi időpontban szignifikánsan nagyobb ecetsav- ($p \leq 0,015$) és összes illózsírsav-koncentrációt ($p \leq 0,018$) eredményezett, míg a propionsav koncentrációját a kezelés nem befolyásolta szignifikánsan. Ezzel szemben a fermentált takarmány adagjának 1 kg-ról 2 kg-ra történő növelése esetén mindhárom mintavételi időpontban szignifikánsan alacsonyabb ecetsav- és összes illózsírsav-koncentrációt mértünk az 1 kg fermentált takarmányt fogyasztó csoporthoz képest, miközben a propionsav koncentrációjában nem alakult ki szignifikáns különbség. A mikrobiális aktivitás tekintetében a 2 kg-os adag alkalmazása nem eredményezett további javulást az 1 kg-os adaghoz képest. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált körülmények között az 1 kg fermentált takarmány biztosította a legkedvezőbb bendőfermentációs választ, míg a nagyobb adag nem jelentett további előnyt.

Tejelő teheneken végzett üzemi takarmányozási kísérletben kimutattuk, hogy az etetett napi szárazanyag 3,32%-át kitevő fermentált abrakkeverék szignifikánsan növelte a tehenek tejtermelését, miközben a tej vizsgált táplálóanyag-összetételét nem befolyásolta kedvezőtlenül. A fermentált takarmány etetése 1,1 kg/tehen/nap tejhozam- és 0,8 kg/tehen/nap ECM-növekedést eredményezett, miközben a tej laktóztartalma (4,75→4,83%) és a napi tejjel termelt laktóz mennyisége (1,72→1,80 kg/nap) szignifikánsan nőtt. Eredményeim arra utalnak, hogy a fermentáció javította a táplálóanyagok bendőbeli hasznosulását

és az energiaellátást, valószínűsíthetően a glükóz-prekurzorok hatékonyabb képződésén keresztül. A tej zsír-, fehérje- és karbamidtartalmának, valamint a szomatikus sejtszámnak a változatlansága arra utal, hogy a tejtermelés növekedése a vizsgált tejminőségi paraméterek kedvezőtlen változása nélkül valósult meg.

Az elektronikus orr vizsgálatok eredményei igazolták, hogy a fermentáció során alkalmazott szubsztrát, a fermentációs közeg és a starterkultúra egyaránt befolyásolja a fermentált abrakkeverékek illékony szerves vegyületeinek összetételét. A PCA során az első két főkomponens a teljes variancia 99,50%-át (PC1: 93,88%; PC2: 5,62%) magyarázta. A DFA esetében az első két diszkriminancia-függvény az összes diszkriminációs információ 73,27%-át képviselte (DF1: 38,76%; DF2: 34,51%). Az első két diszkriminanciafüggvény mentén megfigyelhető csoportelkülönülés jól szemléltette az elektronikus orr minták közötti különbségek felismerésére való alkalmasságát. A DDGS-V-R, DDGS-V-LP, DDGS-T és CGF-V-R kezelések aromaprofilja egymáshoz hasonlóknak bizonyult, míg a CGF-T kezelés mind a PCA-, mind a DFA-elemzésben egyértelműen elkülönült, ami arra utal, hogy a tejsavó alkalmazása a kukoricaglutén-takarmány fermentációja során jelentősen módosította a keletkező illékony metabolitok összetételét. A kezeléseken belüli ismételtek szoros csoportosulása a fermentációs eljárás és az elektronikus orr mérési módszerének jó reprodukálhatóságát igazolta.

A kutatás eredményei alátámasztják a fermentációs technológia további fejlesztésének és szélesebb körű takarmányozási alkalmazásának lehetőségét.

A jövőbeni kutatásoknak célszerű a különböző takarmány-alapanyagok, starterkultúrák és fermentációs paraméterek optimalizálására, valamint hosszabb időtartamú, nagyobb állatlétszámú üzemi vizsgálatokra irányulniuk. E vizsgálatok támogatásában az elektronikus orr ígéretes eszköz lehet, mivel gyors, objektív és roncsolásmentes módszert biztosít a fermentációs folyamatok és a fermentált takarmányok aromaprofiljának, ezáltal minőségének nyomon követésére és értékelésére.

A fermentált melléktermékek takarmányozási célú hasznosítása elősegítheti a fenntartható kérődző-takarmányozás fejlesztését, mérsékelheti az importfehérje-függőséget, valamint hozzájárulhat a körforgásos gazdálkodás elveinek gyakorlati megvalósításához.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A kutatómunkám során végzett kísérletek alapján az alábbi új, újszerű tudományos eredmények fogalmazhatók meg:

1. Juhokkal végzett *in sacco* és bendőfermentációs kísérlet során igazoltam, hogy a tejsavbaktériumokkal fermentált búza–szójadara–árpaszalma keverék etetése módosította a takarmány bendőbeli lebomlási dinamikáját: szignifikánsan csökkentette a gyorsan lebomló szárazanyag- és nyersfehérje-frakció arányát, valamint mérsékelte az NDF lebomlásának késleltetési idejét, miközben etetése nem módosította szignifikánsan a bendőfermentáció vizsgált paramétereit (pH, ammónia-N-koncentráció, összes illózsírsav-koncentráció, az egyes illózsírsavak moláris aránya és az ecetsav-propionsav arány).

2. Szarvasmarhákkal végzett *in sacco* és bendőfermentációs kísérlet során igazoltuk, hogy a tejsavbaktériumokkal fermentált búza–búzakorpa–szójadara alapú, csutkalisztet tartalmazó takarmánykeverék szignifikánsan növelte a szárazanyag, a nyersfehérje és az NDF gyorsan lebomló frakciójának arányát, valamint azok tényleges bendőbeli lebonthatóságát. A napi 1 kg fermentált takarmány etetése szignifikánsan növelte a bendőfolyadék ecetsav- és összes illózsírsav-koncentrációját, míg a napi 2 kg-os adag alkalmazása e paraméterek tekintetében nem eredményezett további növekedést.

3. Tejelő teheneken végzett üzemi takarmányozási vizsgálatban kimutattam, hogy az etetett teljes takarmánykeverék (TMR) szárazanyagának 3,32%-át kitevő, tejsavbaktériumokkal fermentált abrakkeverék (kukorica–búza–extrahált repcedara–extrahált napraforgódara) etetése szignifikánsan növelte az átlagos napi tejtermelést és az energiatartalomra korrigált tejhozamot (ECM), továbbá a tej laktóztartalmát és a tejjel naponta termelt laktóz mennyiségét, miközben a tej szárazanyag-, zsír-, fehérje- és karbamidtartalmát, valamint a szomatikus sejtszámot nem módosította szignifikánsan.

4. Elektronikus orral végzett vizsgálatokkal kimutattam, hogy a fermentációhoz felhasznált alapanyag, a fermentációs közeg és az alkalmazott starterkultúra befolyásolta a fermentált abrakkeverékek illékony szerves vegyületprofilját. A kukoricaglutén-takarmányt (CGF) tartalmazó, tejsavóval és hozzáadott starterkultúra nélkül fermentált keverék (CGF-T) aromaprofilja mind a főkomponens-analízis (PCA), mind a diszkriminancia-analízis (DFA) alapján elkülönült a többi kezeléstől. A vízzel, *Lactiplantibacillus plantarum* és *Pediococcus acidilactici* törzseket tartalmazó starterkultúrával fermentált CGF-alapú keverék (CGF-V-LP) elsősorban a diszkriminancia-analízisben mutatott markáns elkülönülést. Eredményeink alapján az elektronikus orr perspektivikus analitikai eszköz lehet a fermentált takarmányok illékony szerves vegyületprofiljának gyors és objektív vizsgálatára, valamint a fermentáció során kialakuló aromaprofil-változások kimutatására.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás célja a tejsavbaktériumokkal fermentált takarmánykeverékek bendőbeli hasznosulásának és tejelő szarvasmarhák termelésére gyakorolt hatásának komplex vizsgálata volt. A fermentált keverékek értékelését juhokon és szarvasmarhákon végzett *in sacco* és bendőfermentációs kísérletekkel, tejelő tehenekkel végzett üzemi vizsgálattal, valamint elektronikus orr alkalmazásával végeztem.

A juhokon végzett *in sacco* kísérlet igazolta, hogy a fermentáció elsősorban a lebomlás dinamikáját módosította: a gyorsan lebomló szárazanyag-frakció 35,51%-ról 29,99%-ra, a gyorsan lebomló nyersfehérje-frakció 37,61%-ról 32,06%-ra csökkent, míg az NDF lebomlásának késleltetési ideje 5,03 órától 3,30 órára rövidült.

A juhokkal végzett bendőfermentációs kísérlet alapján a fermentált takarmány nem befolyásolta kedvezőtlenül a vizsgált bendőfermentációs paramétereket; a bendőfolyadék pH-ja (5,82–6,42), az ammónia-nitrogén koncentráció (8,96–14,51 mmol/l) és az ecetsav:propionsav arány (3,26–3,46) a fiziológiás tartományban maradt.

A szarvasmarhákon végzett *in sacco* kísérlet szerint a fermentáció javította a táplálóanyagok bendőbeli hasznosulását. A 8%/óra bendőbeli kiáramlási sebességnél a fermentált takarmány tényleges bendőbeli lebonthatósága a szárazanyag esetében 2,78, a nyersfehérjénél 7,02, a nyersrostnál 5,80, míg az NDF esetében 10,44 százalékponttal haladta meg a kontroll értékeit.

A szarvasmarhákon végzett bendőfermentációs kísérletek alapján az 1 kg fermentált takarmány etetése szignifikánsan növelte az összes

illózsírsav- és ecetsav-koncentrációt ($p \leq 0,018$), míg a 2 kg-os adag nem eredményezett további kedvező változásokat.

A tejelő tehenekkel végzett, üzemi vizsgálat igazolta a fermentált abrakkeverék gyakorlati alkalmazhatóságát. A takarmányadag 3,32%-át kitevő fermentált abrak-keverék etetése 1,1 kg/tehen/nap tejhozam- és 0,8 kg/tehen/nap ECM-növekedést eredményezett, miközben a tej laktóztartalma 4,75%-ról 4,83%-ra, a napi laktóztermelés pedig 1,72-ről 1,80 kg/napra emelkedett. A tej zsír-, fehérje- és karbamidtartalma, valamint a szomatikus sejtszám nem változott szignifikánsan.

Az elektronikus orr vizsgálatai igazolták, hogy a fermentáció során kialakuló aromaprofil érzékenyen tükrözi a felhasznált alapanyagot és a fermentációs technológiát. A főkomponens-analízis első két komponense a teljes variancia 99,50%-át, míg a diszkriminancia-analízis első két függvénye 73,27%-át magyarázta. A CGF-T kezelés mindkét statisztikai módszerrel egyértelműen elkülönült a többi kezeléstől, ami a tejsavó alkalmazásának jelentős hatását bizonyítja az illékony metabolitok összetételére.

A kutatás eredményei igazolják, hogy a tejsavbaktériumokkal végzett fermentáció alkalmas a takarmányok tápláléértékének és kérődzőkben történő hasznosulásának javítására. A fermentáció kedvezően befolyásolta a bendőbeli lebomlást és a termelési teljesítményt, miközben megőrizte a bendőfermentáció stabilitását. Az elektronikus orr alkalmazása új lehetőséget kínál a fermentált takarmányok minőségének gyors és objektív értékelésére, míg a fermentált melléktermékek hasznosítása hozzájárulhat a fenntartható kérődző-takarmányozás és a körforgásos gazdálkodás fejlesztéséhez.

A kutatás eredményei tudományos alapot szolgáltatnak a fermentációs technológia szélesebb körű takarmányozási alkalmazásához, valamint a mezőgazdasági- és élelmiszeripari melléktermékek innovatív és értéknövelt hasznosításához.

9. ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra: A kísérleti elrendezés bemutatása
2. ábra: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek szárazanyagának *in sacco* lebomlása különböző inkubációs időkben szarvasmarhákban
3. ábra: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek nyersfehérjéjének *in sacco* lebomlása különböző inkubációs időkben szarvasmarhákban
4. ábra: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek nyersrostjának *in sacco* lebomlása különböző inkubációs időkben szarvasmarhákban
5. ábra: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek NDF-jének *in sacco* lebomlása különböző inkubációs időkben szarvasmarhákban
6. ábra: A különböző fermentációs kezelések elkülönülése diszkriminancia-analízis (DFA) alapján
7. ábra. A különböző fermentációs kezelések aromaprofiljának összehasonlítása főkomponens-analízissel (PCA)

10. TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat: A juhokon végzett bendőfermentációs és *in sacco* kísérletben alkalmazott nem fermentált és fermentált keverékek összetétele és táplálóanyag-tartalma
2. táblázat: A bendőkanüllel ellátott juhokon végzett bendőfermentációs és *in sacco* kísérlet során alkalmazott takarmányadagok összetétele és meghatározott táplálóanyag-tartalma
3. táblázat: A vizsgált takarmányok összetétele és táplálóanyag-tartalma a szarvasmarhákkal végzett kísérletben
4. táblázat: Az *in sacco* kísérlet során a szarvasmarhákkal etetett takarmányadag összetétele és táplálóanyag-tartalma
5. táblázat: A kialakított tehénpárok jellemző adatai
6. táblázat: A tejelő teheneken végzett üzemi vizsgálat során alkalmazott TMR-ben felhasznált abrak-keverékek összetétele és számított táplálóanyag-tartalma
7. táblázat: Az üzemi vizsgálatban használt TMR összetétele, elemzett táplálóanyag-tartalma és számított energiatartalma
8. táblázat: A különböző kezelések paraméterei
9. táblázat: A kontroll és fermentált keverékek szárazanyag-, nyersfehérje- és NDF-tartalmának *in sacco* lebonthatósága, valamint az NDF lebontásának kinetikája a Mertens és Loften (1980) által kidolgozott L–T modell alapján juhokban
10. táblázat: A bendőfolyadék-minták pH-ja és ammónia-N-koncentrációja a kontroll és fermentált kezelésekből juhokban ($n = 30/\text{kezelés/időpont}$)
11. táblázat: A bendőfolyadék-minták összes illózsírsav-koncentrációja és az egyes illózsírsavak moláris aránya a kontroll és fermentált kezelésekből juhokban ($n = 30/\text{kezelés/időpont}$)
12. táblázat: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek szárazanyag-lebomlási eredményei (átlag) az Ørskov–McDonald-modell alapján szarvasmarhákban

13. táblázat: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek nyersfehérje-lebomlási eredményei (átlag) az Ørskov–McDonald-modell alapján szarvasmarhákban
14. táblázat: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek nyersrost-lebomlási eredményei az Ørskov–McDonald-modell alapján szarvasmarhákban
15. táblázat: A kontroll és fermentált takarmánykeverékek NDF-lebomlási eredményei az Ørskov–McDonald-modell alapján szarvasmarhákban
16. táblázat: A bendőfolyadék pH-értékének és ammónia-nitrogén ($\text{NH}_3\text{-N}$) koncentrációjának alakulása a kontroll-, Ferm1- és Ferm2 takarmányt fogyasztó szarvasmarhákban ($n = 6/\text{kezelés/időpont}$).
17. táblázat: A bendőfolyadék mikrobiális aktivitásának alakulása különböző nitritkoncentrációk mellett a kontroll-, Ferm1- és Ferm2 takarmányt fogyasztó szarvasmarhákban ($n = 6/\text{kezelés/időpont}$)
18. táblázat: Az illózsírsav összetétel alakulása a kontroll-, Ferm1- és Ferm2 takarmányt fogyasztó szarvasmarhákban ($n = 6/\text{kezelés/időpont}$)
19. táblázat: A fermentált abrak-keverék etetésének hatása az átlagos napi tejhozamra és a tej összetételére az üzemi kísérletben ($n = 24/\text{kezelés}$)

11. IRODALOMJEGYZÉK

- Abi-Rizk, H., Bouveresse, D. J. R., Chamberland, J., & Cordella, C. B. (2023). Recent developments of e-sensing devices coupled to data processing techniques in food quality evaluation: a critical review. *Analytical Methods*, 15(41), 5410-5440. <https://doi.org/10.1039/D3AY01132A>
- Adesogan, A. T., Arriola, K. G., Jiang, Y., Oyebade, A., Paula, E. M., Pech-Cervantes, A. A., ... & Vyas, D. (2019). Symposium review: Technologies for improving fiber utilization. *Journal of dairy science*, 102(6), 5726-5755. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15334>
- Akhtar, M. F., Wenqiong, C., Umar, M., & Changfa, W. (2025). Biochemical properties of lactic acid bacteria for efficient silage production: An update. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1581430. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1581430>
- Amin, A. B., Zhang, L., Zhang, J., & Mao, S. (2022). Fermented soybean meal modified the rumen microbiome to enhance the yield of milk components in Holstein cows. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(22), 7627-7642. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-12240-2>
- Aschenbach, J. R., Penner, G. B., Stumpff, F., & Gäbel, G. (2011). Ruminant nutrition symposium: role of fermentation acid absorption in the regulation of ruminal pH. *Journal of animal science*, 89(4), 1092-1107. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3301>
- Axelsson, L. (2004). Lactic acid bacteria: classification and physiology. *Food Science and Technology-New York-Marcel Dekker-*, 139, 1-66. ISBN: 0-8247-5332-1
- Azevedo, P. O. D. S. D., & Gierus, M. (2025). Lactic Acid Bacteria and Bacteriocins in Feed Preservation: Mechanisms and Antifungal Properties. *Grass and Forage Science*, 80(1), e12711. <https://doi.org/10.1111/gfs.12711>
- Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'mara, F., & McAllister, T. A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement:

- a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2), 21-27. <https://doi.org/10.1071/EA07199>
- Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Abdalla, A. L., Alvarez, C., Arndt, C., Becquet, P., ... & Kebreab, E. (2022). Invited review: Current enteric methane mitigation options. *Journal of Dairy Science*, 105(12), 9297-9326. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>
- Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Eckard, R. J., & Wang, M. (2020). Fifty years of research on rumen methanogenesis: Lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*, 14(S1), s2-s16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
- Berg, J. M., Gatto Jr, G. J., Hines, J., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2023). *Biochemistry*. Macmillan Higher Education.
- Betchem, G., Monto, A. R., Lu, F., Billong, L. F., & Ma, H. (2024). Prospects and application of solid-state fermentation in animal feed production: A review. *AFMA Matrix*, 33(3), 28-33. https://hdl.handle.net/10520/ejc-vp_afma_v33_n3_all
- Bhattacharyya, N., & Bandhopadhyay, R. (2010). Electronic nose and electronic tongue. In *Nondestructive Evaluation of Food Quality: Theory and Practice* (pp. 73-100). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Binder, E. M., Tan, L. M., Chin, L. J., Handl, J., & Richard, J. (2007). Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities, feeds and feed ingredients. *Animal feed science and technology*, 137(3-4), 265-282. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.005>
- Bryden, W. L. (2012). Mycotoxin contamination of the feed supply chain: Implications for animal productivity and feed security. *Animal feed science and technology*, 173(1-2), 134-158. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.014>
- Buchholz, K., & Collins, J. (2013). The roots—a short history of industrial microbiology and biotechnology. *Applied microbiology and biotechnology*, 97(9), 3747-3762. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-4768-2>
- Buchner, E. (1907). Cell-free fermentation. Nobel lecture, 11, 104-119.

- Bureenok, S., Suksombat, W., & Kawamoto, Y. (2011). Effects of the fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria (FJLB) and molasses on digestibility and rumen fermentation characteristics of ruzigrass (*Brachiaria ruziziensis*) silages. *Livestock Science*, 138(1-3), 266-271. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.01.003>
- Campagnoli, A., & Dell'Orto, V. (2013). Potential application of electronic olfaction systems in feedstuffs analysis and animal nutrition. *Sensors*, 13(11), 14611-14632. <https://doi.org/10.3390/s131114611>
- Canibe, N., & Jensen, B. B. (2012). Fermented liquid feed—Microbial and nutritional aspects and impact on enteric diseases in pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 173(1-2), 17-40. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.021>
- Canibe, N., Højberg, O., Badsberg, J. H., & Jensen, B. B. (2007). Effect of feeding fermented liquid feed and fermented grain on gastrointestinal ecology and growth performance in piglets. *Journal of animal science*, 85(11), 2959-2971. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-744> <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.02.004>
- Cao, Y., Takahashi, T., Horiguchi, K. I., Yoshida, N., & Cai, Y. (2010). Methane emissions from sheep fed fermented or non-fermented total mixed ration containing whole-crop rice and rice bran. *Animal Feed Science and Technology*, 157(1-2), 72-78.
- Chaucheyras-Durand, F., & Fonty, G. (2001). Establishment of cellulolytic bacteria and development of fermentative activities in the rumen of gnotobiotically-reared lambs receiving the microbial additive *Saccharomyces cerevisiae* CNCM I-1077. *Reproduction Nutrition Development*, 41(1), 57-68. <https://doi.org/10.1051/rnd:2001112>
- Chen, J., Cai, Y., Wang, Z., Xu, Z., Zhuang, W., Liu, D., ... & Ying, H. (2024). Solid-state fermentation of corn straw using synthetic microbiome to produce fermented feed: the feed quality and conversion mechanism. *Science of The Total Environment*, 920, 171034. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171034>
- Chen, L., Zhao, Z., Yu, W., Zheng, L., Li, L., Gu, W., ... és Yan, X. (2021). A szójadara tápértékének javítása *Bacillus velezensis* és *Lactobacillus plantarum* segítségével kétlépcsős szilárd fázisú

- fermentáció során. *Amb Express*, 11 (1), 23.
<https://doi.org/10.1186/s13568-021-01184-x>
- Chen, M., Dai, M., Wang, Q., Zhan, H., & Bai, Z. (2023). Effects of different unconventional feed combinations on growth, digestion and rumen fermentation of dairy cows. *Cellular and Molecular Biology*, 69(3), 182-190.
<https://doi.org/10.14715/cmb/2023.69.3.27>
- Chen, Y., Xu, H., Ding, S., Zhou, H., Qin, D., Deng, F., & Wang, R. (2020). Changes in volatile compounds of fermented minced pepper during natural and inoculated fermentation process based on headspace–gas chromatography–ion mobility spectrometry. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3362-3379.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.1616>
- Chesson, A., & Forsberg, C. W. (1997). Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. In *The rumen microbial ecosystem* (pp. 329-381). Dordrecht: Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-94-009-1453-7_8
- Cholewińska, P., Czyż, K., Nowakowski, P., & Wyrstek, A. (2020). The microbiome of the digestive system of ruminants—a review. *Animal health research reviews*, 21(1), 3-14.
<https://doi.org/10.1017/S1466252319000069>
- Cleveland, J., Montville, T. J., Nes, I. F., & Chikindas, M. L. (2001). Bacteriocins: safe, natural antimicrobials for food preservation. *International journal of food microbiology*, 71(1), 1-20.
[https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00560-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00560-8)
- De Menezes, A. B., Lewis, E., O'Donovan, M., O'Neill, B. F., Clipson, N., & Doyle, E. M. (2011). Microbiome analysis of dairy cows fed pasture or total mixed ration diets. *FEMS microbiology ecology*, 78(2), 256-265. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01151.x>
- De Vuyst, L., & Leroy, F. (2007). Bacteriocins from lactic acid bacteria: production, purification, and food applications. *Journal of molecular microbiology and biotechnology*, 13(4), 194-199.
<https://doi.org/10.1159/000104752>
- Demain, A. L., & Adrio, J. L. (2008). Contributions of microorganisms to industrial biology. *Molecular biotechnology*, 38(1), 41-55.
<https://doi.org/10.1007/s12033-007-0035-z>

- Deppenmeier, U., & Ehrenreich, A. (2009). Physiology of acetic acid bacteria in light of the genome sequence of *Gluconobacter oxydans*. *Journal of molecular microbiology and biotechnology*, 16(1-2), 69-80. <https://doi.org/10.1159/000142895>
- Dong, Z., Zhao, J., Chen, S., Bao, Y., Tao, X., Wang, S., ... & Shao, T. (2020). Effects of different additives on fermentation quality and aerobic stability of a total mixed ration prepared with local feed resources on Tibetan plateau. *Animal Science Journal*, 91(1), e13482. <https://doi.org/10.1111/asj.13482>
- Doran, P. M. (1995). *Bioprocess engineering principles*. Elsevier. ISBN: 0-12-220855-2
- Doty, R. L. (2015). *Handbook of olfaction and gustation*. John Wiley & Sons.
- FEFAC. (2024). *Feed & Food Report 2024*. European Feed Manufacturers' Federation. https://fefac.eu/wp-content/uploads/2025/04/FF_2024.pdf
- Feizi, L. K., Zad, S. S., Jalali, S. A. H., Rafiee, H., Jazi, M. B., Sadeghi, K., & Kowsar, R. (2020). Fermented soybean meal affects the ruminal fermentation and the abundance of selected bacterial species in Holstein calves: a multilevel analysis. *Scientific reports*, 10(1), 12062. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68778-6>
- Flint, H. J., Bayer, E. A., Rincon, M. T., Lamed, R., & White, B. A. (2008). Polysaccharide utilization by gut bacteria: potential for new insights from genomic analysis. *Nature reviews microbiology*, 6(2), 121-131. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1817>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *Animal production*. FAO. <https://www.fao.org/animal-production/en>
- Frias, J., Song, Y. S., Martínez-Villaluenga, C., De Mejia, E. G., & Vidal-Valverde, C. (2008). Immunoreactivity and amino acid content of fermented soybean products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(1), 99-105. <http://doi.org/10.1021/jf072177j>

- Fuchs, S., Sontag, G., Stidl, R., Ehrlich, V., Kundi, M., & Knasmüller, S. (2008). Detoxification of patulin and ochratoxin A, two abundant mycotoxins, by lactic acid bacteria. *Food and chemical toxicology*, 46(4), <http://doi.org/1398-1407.10.1016/j.fct.2007.10.008>
- Fusco, V., Quero, G. M., Cho, G. S., Kabisch, J., Meske, D., Neve, H., ... & Franz, C. M. (2015). The genus *Weissella*: taxonomy, ecology and biotechnological potential. *Frontiers in microbiology*, 6, 155. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00155>
- Gänzle, M. G. (2015). Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage. *Current Opinion in Food Science*, 2, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.03.001>
- Gao, M., Cieślak, A., Huang, H., Gogulski, M., Petrič, D., Ruska, D., ... & Szumacher-Strabel, M. (2023). Effects of raw and fermented rapeseed cake on ruminal fermentation, methane emission, and milk production in lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 300, 115644. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115644>
- Garcia-Ochoa, F., & Gomez, E. (2009). Bioreactor scale-up and oxygen transfer rate in microbial processes: an overview. *Biotechnology advances*, 27(2), 153-176. <http://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.10.006>
- Gardner, J. W., & Bartlett, P. N. (1994). A brief history of electronic noses. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 18(1-3), 210-211. [https://doi.org/10.1016/0925-4005\(94\)87085-3](https://doi.org/10.1016/0925-4005(94)87085-3)
- Garrido-Galand, S., Asensio-Grau, A., Calvo-Lerma, J., Heredia, A., & Andrés, A. (2021). The potential of fermentation on nutritional and technological improvement of cereal and legume flours: A review. *Food Research International*, 145, 110398. <http://10.1016/j.foodres.2021.110398>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., ... & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities (pp. xxi+-115). ISBN: 978-92-5-107920-1

- Gilani, G. S., Xiao, C. W., & Cockell, K. A. (2012). Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *British Journal of Nutrition*, 108(S2), S315-S332. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002371>
- Gruninger, R. J., Ribeiro, G. O., Cameron, A., & McAllister, T. A. (2019). Invited review: Application of meta-omics to understand the dynamic nature of the rumen microbiome and how it responds to diet in ruminants. *Animal*, 13(9), 1843-1854. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000752>
- Gunun, P., Cherdthong, A., Khejornsart, P., Wanapat, M., Polyorach, S., Kaewwongsa, W., & Gunun, N. (2023). Replacing concentrate with yeast-or EM-Fermented cassava peel (YFCP or EMFCP): Effects on the feed intake, feed digestibility, rumen fermentation, and growth performance of goats. *Animals*, 13(4), 551. <https://doi.org/10.3390/ani13040551>
- Guo, W., Guo, X. J., Zhu, B. C., Guo, Y. Y., & Zhou, X. (2019). In situ degradation, ruminal fermentation, and the rumen bacterial community of cattle fed corn stover fermented by lignocellulolytic microorganisms. *Animal feed science and technology*, 248, 10-19. <http://10.1016/j.anifeedsci.2018.07.007>
- Hathout, A. S., & Aly, S. E. (2014). Biological detoxification of mycotoxins: a review. *Annals of microbiology*, 64(3), 905-919. <https://doi.org/10.1007/s13213-014-0899-7>
- Henderson, G., Cox, F., Ganesh, S., Jonker, A., Young, W., & Janssen, P. H. (2015). Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Scientific reports*, 5(1), 14567. <https://doi.org/10.1038/srep14567>
- Hobson, P. N., & Stewart, C. S. (Eds.). (1988). *Rumen microbial ecosystem*. Springer Science & Business Media. ISBN: 1-85166-1883
- Holzapfel, W. H. (2002). Appropriate starter culture technologies for small-scale fermentation in developing countries. *International journal of food microbiology*, 75(3), 197-212. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00707-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00707-3)

- Horváth, Z., & Horváth, Gy. (1979). Állatorvosi klinikai laboratóriumi vizsgálatok. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó. ISBN:963-230-051-3
- Hu, Y., He, Y., Gao, S., Liao, Z., Lai, T., Zhou, H., ... & Lu, W. (2020). The effect of a diet based on rice straw co-fermented with probiotics and enzymes versus a fresh corn Stover-based diet on the rumen bacterial community and metabolites of beef cattle. *Scientific Reports*, 10(1), 10721. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67716-w>
- Hui, Y. H., Meunier-Goddik, L., Josephsen, J., Nip, W. K., & Stanfield, P. S. (Eds.). (2004). Handbook of food and beverage fermentation technology (Vol. 134). CRC press. ISBN: 0-8247-4780-1
- Hur, S. J., Lee, S. Y., Kim, Y. C., Choi, I., & Kim, G. B. (2014). Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food chemistry*, 160, 346-356. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.112>
- Hutkins, R. W. (2008). Microbiology and technology of fermented foods. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-8138-0018-9
- Huws, S. A., Oyama, L. B., & Creevey, C. J. (2024). Sustainable use and conservation of microorganisms of relevance to ruminant digestion. Food & Agriculture Org. ISBN:978-92-5-138652-1
- Ibarruri, J., Goiri, I., Cebrián, M., & García-Rodríguez, A. (2021). Solid state fermentation as a tool to stabilize and improve nutritive value of fruit and vegetable discards: effect on nutritional composition, in vitro ruminal fermentation and organic matter digestibility. *Animals*, 11(6), 1653. <https://doi.org/10.3390/ani11061653>
- Ikegami, A., & Kaneyasu, M. (1985). Olfactory detection using integrated sensors. *Digest of Technical Papers, Transducers*, 85, 136-139.
- Jalč, D., Váradyová, Z., Lauková, A., Homolka, P., & Jančík, F. (2009). Effect of inoculated corn silage on rumen fermentation and lipid metabolism in an artificial rumen (RUSITEC). *Animal feed science and technology*, 152(3-4), 256-266. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.04.019>

- Jeyanathan, J., Martin, C., & Morgavi, D. P. (2014). The use of direct-fed microbials for mitigation of ruminant methane emissions: a review. *Animal*, 8(2), 250-261. <https://doi.org/10.1017/S1751731113002085>
- Jiang, X., Liu, X., Liu, S., Li, Y., Zhao, H. B., & Zhang, Y. G. (2019). Growth, rumen fermentation and plasma metabolites of Holstein male calves fed fermented corn gluten meal during the postweaning stage. *Animal Feed Science and Technology*, 249, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.012>
- Jiang, X., Ma, G. M., Cui, Z. Q., Li, Y., & Zhang, Y. G. (2020). Effects of fermented corn gluten meal on growth performance, plasma metabolites, rumen fermentation and bacterial community of Holstein calves during the pre-weaning period. *Livestock Science*, 231, 103866. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103866>
- Jouany, J. P. (2007). Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds. *Animal feed science and technology*, 137(3-4), 342-362. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.009>
- Kabak, B., Dobson, A. D., & Var, I. I. L. (2006). Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 46(8), 593-619. <https://doi.org/10.1080/10408390500436185>
- Kaewwongsa, W., Wachirapakorn, C., Paengkoum, S., Taethaisong, N., Thongpea, S., & Paengkoum, P. (2024). Effects of replacement soybean meal with fermented cassava pulp by *Saccharomyces cerevisiae* in DIETS on Rumen fermentation in growing goats. *Scientific Reports*, 14(1), 28124. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61402-x>
- Kiers, J. L., Nout, R. M. J., & Rombouts, F. M. (2000). In vitro digestibility of processed and fermented soya bean, cowpea and maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(9), 1325-1331. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200007\)80:9<1325::AID-JSFA648>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200007)80:9<1325::AID-JSFA648>3.0.CO;2-K)
- Kim, S. H., Alam, M. J., Gu, M. J., Park, K. W., Jeon, C. O., Ha, J. K., ... & Lee, S. S. (2012). Effect of total mixed ration with fermented feed on ruminal in vitro fermentation, growth

- performance and blood characteristics of Hanwoo steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(2), 213. <http://10.5713/ajas.2011.11186>
- Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P., & Tricarico, J. M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of dairy science*, 97(6), 3231-3261. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Knychala, M. M., Boing, L. A., Ienczak, J. L., Trichez, D., & Stambuk, B. U. (2024). Precision fermentation as an alternative to animal protein, a review. *Fermentation*, 10(6), 315. <https://doi.org/10.3390/fermentation10060315>
- Kung Jr, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of dairy Science*, 101(5), 4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- Lee, S., Ryu, C. H., Back, Y. C., Lee, S. D., & Kim, H. (2023). Effect of fermented concentrate on ruminal fermentation, ruminal and fecal microbiome, and growth performance of beef cattle. *Animals*, 13(23), 3622. <https://doi.org/10.3390/ani13233622>
- Lei, X. G., Weaver, J. D., Mullaney, E., Ullah, A. H., & Azain, M. J. (2013). Phytase, a new life for an “old” enzyme. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 1(1), 283-309. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103717>
- Leroy, F., & De Vuyst, L. (2004). Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science & Technology*, 15(2), 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.004>
- Li, F., Usman, S., Huang, W., Jia, M., Kharazian, Z. A., Ran, T., ... & Guo, X. (2023). Correction: Effects of inoculating feruloyl esterase-producing *Lactiplantibacillus plantarum* A1 on ensiling characteristics, in vitro ruminal fermentation and microbiota of alfalfa silage. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14, 53. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00837-0>
- Li, Y., Lv, J., Wang, J., Zhou, S., Zhang, G., Wei, B., ... & Zhang, Y. (2021). Changes in carbohydrate composition in fermented total mixed ration and its effects on in vitro methane production and

- microbiome. *Frontiers in microbiology*, 12, 738334.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.738334>
- Lyberg, K., Lundh, T., Pedersen, C., & Lindberg, J. E. (2006). Influence of soaking, fermentation and phytase supplementation on nutrient digestibility in pigs offered a grower diet based on wheat and barley. *Animal Science*, 82(6), 853-858.
<https://doi.org/10.1017/ASC2006109>
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2021). *Ecological Diversity of Bacteria*. Brock Biology of Microorganisms 16th Edition; Pearson: Hoboken, NJ, USA, 478-518.
- Manguele, P., & Merlo, E. (2023). Chemical senses: taste and smell. *Introduction to Biological Psychology*.
- Marco, M. L., Sanders, M. E., Gänzle, M., Arrieta, M. C., Cotter, P. D., De Vuyst, L., ... & Hutkins, R. (2021). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(3), 196-208.
<https://doi.org/10.1038/s41575-020-00390-5>
- McCann, J. C., Wickersham, T. A., & Loo, J. J. (2014). High-throughput methods redefine the rumen microbiome and its relationship with nutrition and metabolism. *Bioinformatics and biology insights*, 8, BBI-S15389.
<https://doi.org/10.4137/BBI.S15389>
- McGinley, C. M., & McGinley, M. A. (1998, June). Odor quantification methods & practices at MSW landfills. In *PROC A WASTE MANAGE ASSOC ANNU MEET EXHIB* (p. 11).
- McSweeney, P. L., & Sousa, M. J. (2000). Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review. *Le Lait*, 80(3), 293-324.
<https://doi.org/10.1051/lait:2000127>
- Mehrez, A. Z., & Ørskov, E. R. (1977). A study of artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 88(3), 645-650.
<https://doi.org/10.1017/S0021859600037321>

- Mertens, D. R., & Loften, J. R. (1980). The effect of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro. *Journal of Dairy Science*, 63(9), 1437-1446. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)83101-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83101-8)
- Miguel, M., Mamuad, L., Ramos, S., Ku, M. J., Jeong, C. D., Kim, S. H., ... & Lee, S. S. (2020). Effects of using different roughages in the total mixed ration inoculated with or without coculture of *Lactobacillus acidophilus* and *Bacillus subtilis* on in vitro rumen fermentation and microbial population. *Animal Bioscience*, 34(4), 642. <http://doi.org/10.5713/ajas.20.0386>
- Missotten, J. A., Michiels, J., Degroote, J., & De Smet, S. (2015). Fermented liquid feed for pigs: an ancient technique for the future. *Journal of animal science and biotechnology*, 6(1), 4. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-6-4>
- Mitchell, D. A., Krieger, N., & Berovič, M. (2006). Solid-state fermentation bioreactors. Springer, 19. <https://doi.org/10.1007/3-540-31286-2>
- Moorby, J. M., & Fraser, M. D. (2021). New feeds and new feeding systems in intensive and semi-intensive forage-fed ruminant livestock systems. *Animal*, 15, 100297. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100297>
- Moss, A. R., Jouany, J. P., & Newbold, J. (2000, May). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. In *Annales de zootechnie* (Vol. 49, No. 3, pp. 231-253). <https://doi.org/10.1051/animres:2000119>
- Mottet, A., De Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C., & Gerber, P. (2017). Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global food security*, 14, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>
- Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung Jr, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of dairy science*, 101(5), 3980-4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>
- Mukherjee, R., Chakraborty, R., & Dutta, A. (2015). Role of fermentation in improving nutritional quality of soybean meal—

- a review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 29(11), 1523. <http://doi.org/10.5713/ajas.15.0627>
- Nagle, H. T., Gutierrez-Osuna, R., & Schiffman, S. S. (1998). The how and why of electronic noses. *IEEE spectrum*, 35(9), 22-31. <https://doi.org/10.1109/6.715180>
- Nelson, D. L., Lehninger, A. L., & Cox, M. M. (2008). *Lehninger principles of biochemistry*. Macmillan. ISBN: 071677108X
- Nii, H., & Okabe, T. (2012). Rumen degradation characteristics of fermented feed and food by-products. *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 37(4), 563-566. <https://doi.org/10.14723/tmrj.37.563>
- Niu, M., Kebreab, E., Hristov, A. N., Oh, J., Arndt, C., Bannink, A., ... & Yu, Z. (2018). Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Global change biology*, 24(8), 3368-3389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>
- Nocek, J. E., & Tamminga, S. (1991). Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3598-3629. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78552-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78552-4)
- Nout, M. R., & Rombouts, F. M. (2000). Fermented and acidified plant foods. *The microbiological safety and quality of food*, 1.
- Ogunade, I. M., Martinez-Tupia, C., Queiroz, O. C. M., Jiang, Y., Drouin, P., Wu, F., ... & Adesogan, A. T. (2018). Silage review: Mycotoxins in silage: Occurrence, effects, prevention, and mitigation. *Journal of dairy science*, 101(5), 4034-4059. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13788>
- Okoye, C. O., Wang, Y., Gao, L., Wu, Y., Li, X., Sun, J., & Jiang, J. (2023). The performance of lactic acid bacteria in silage production: A review of modern biotechnology for silage improvement. *Microbiological Research*, 266, 127212. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127212>
- Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The journal of*

agricultural science, 92(2), 499-503.
<https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>

Oude Elferink, S. J. W. H., Driehuis, F., Gottschal, J. C., & Spoelstra, S. F. (2000, September). Silage fermentation processes and their manipulation. In FAO Electronic conference on Tropical silage (pp. 1-28). ISBN: 92-5-104500-3

Ouwehand, A. C., & Vesterlund, S. (2004). Antimicrobial components from lactic acid bacteria. *FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-NEW YORK-MARCEL DEKKER-*, 139, 375-396. ISBN: 0-8247-5332-1

Owens, F. N., Secrist, D. S., Hill, W. J., & Gill, D. R. (1998). Acidosis in cattle: a review. *Journal of animal science*, 76(1), 275-286.
<https://doi.org/10.2527/1998.761275x>

Pahlow, G., Muck, R. E., Driehuis, F., Elferink, S. J. O., & Spoelstra, S. F. (2003). Microbiology of ensiling. *Silage science and technology*, 42, 31-93.

Pandey, A. (2003). Solid-state fermentation. *Biochemical engineering journal*, 13(2-3), 81-84. [http://doi.org/10.1016/S1369-703X\(02\)00121-3](http://doi.org/10.1016/S1369-703X(02)00121-3)

Panesar, P. S., & Kennedy, J. F. (2012). Biotechnological approaches for the value addition of whey. *Critical Reviews in Biotechnology*, 32(4), 327-348.
<https://doi.org/10.3109/07388551.2011.640624>

Park, B. K., Gil, J. M., Kim, J. B., Hong, B. J., Ra, C. S., & Shin, J. S. (2003). Effects of fermented feedstuff with wet brewer's grain and soybean on fattening performance and carcass grade in Hanwoo steers. *Journal of Animal Science and Technology*, 45(3), 397-408.

Pasteur, L. (1858). Sur la fermentation appelee lactique. *Ann. Chim. Phys*, 52, 404-418.

Peris, M., & Escuder-Gilabert, L. (2009). A 21st century technique for food control: Electronic noses. *Analytica chimica acta*, 638(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.02.009>

Persaud, K., & Dodd, G. (1982). Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature*, 299(5881), 352-355.

- Poppi, D. P., Minson, D. J., & Ternouth, J. H. (1981). Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. 3. The retention time in the rumen of large feed particles. *Australian journal of agricultural research*, 32(1), 123-137. <https://doi.org/10.1071/AR9810123>
- Pretorius, I. S. (2000). Tailoring wine yeast for the new millennium: novel approaches to the ancient art of winemaking. *Yeast*, 16(8), 675-729. <https://doi.org/10.1002/1097-0061>
- Pu, X., Zhang, W., Yang, F., Zhang, X., Wang, R., Li, Q., ... & Wang, M. (2025). Evaluating the potential of fermented bakery by-products as a replacement for corn gluten feed in cattle diets to suppress methanogenesis and alter rumen fermentation in growing Holstein bulls. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1485688. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1485688>
- Ray, R. C. (2022). *Lactic acid bacteria in food biotechnology: innovations and functional aspects*. Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-0-323-89975-1.00017-1>
- Ray, R. C., & Joshi, V. K. (2014). Fermented foods: past, present and future. *Microorganisms and fermentation of traditional foods*, 1-36. <https://doi.org/10.1201/b17307>
- Reddy, N. R., Pierson, M. D., Sathe, S. K., & Salunkhe, D. K. (1989). *Phytates in cereals and legumes*. CRC Press. ISBN: 0-8493-6108-7
- Rehemujiang, H., Yusuf, H. A., Ma, T., Diao, Q., Kong, L., Kang, L., & Tu, Y. (2023). Fermented cottonseed and rapeseed meals outperform soybean meal in improving performance, rumen fermentation, and bacterial composition in Hu sheep. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1119887. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1119887>
- Rezazadeh, F., Kowsar, R., Rafiee, H., & Riasi, A. (2019). Fermentation of soybean meal improves growth performance and immune response of abruptly weaned Holstein calves during cold weather. *Animal Feed Science and Technology*, 254, 114206. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114206>
- Ritala, A., Häkkinen, S. T., Toivari, M., & Wiebe, M. G. (2017). Single cell protein—state-of-the-art, industrial landscape and patents

- 2001–2016. *Frontiers in microbiology*, 8, 300587. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>
- Rodrigues, A. A., Reis, S. S., Costa, D. C. D. C. C., Dos Santos, M. A., Paulino, R. D. S., Rufino, M. D. O. A., & Neto, S. G. (2023). Yeast-fermented cassava as a protein source in cattle feed: systematic review and meta-analysis. *Tropical Animal Health and Production*, 55(2), 67. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03494-7>
- Russell, J. B., & Rychlik, J. L. (2001). Factors that alter rumen microbial ecology. *Science*, 292(5519), 1119-1122. <http://doi.org/10.1126/science.1058830>
- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M., ... & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 18(9), 649-667. <https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>
- Schwab, C. G., & Broderick, G. A. (2017). A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. *Journal of dairy science*, 100(12), 10094-10112. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13320>
- Sell, C. S. (2014). *Chemistry and the Sense of Smell*. John Wiley & Sons.
- Senapati, A. K., Pandey, A. N. I. T. A., Ann, A. N. T. O. N., Raj, A. N. O. O. P., Gupta, A. N. U. P. A. M. A., Das, A. J., ... & JOSHI, V. (2016). Indigenous fermented foods involving acid fermentation. *Indigenous Fermented Foods of South Asia*. CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, 431-500.
- Shan, CH, Guo, J., Sun, X., Li, N., Yang, X., Gao, Y., ... és Zhao, JJ (2018). Fermentált kínai gyógynövénykészítmények hatása a tejtermelésre és az immunfunkciókra késői laktációjú teheneknél hőstressz körülmények között. *Journal of Animal Science*, 96 (10), 4444-4457. <https://doi.org/10.1093/jas/sky270>
- Shi, C., Zhang, Y., Lu, Z., & Wang, Y. (2017). Solid-state fermentation of corn-soybean meal mixed feed with *Bacillus subtilis* and *Enterococcus faecium* for degrading antinutritional factors and enhancing nutritional value. *Journal of Animal science and*

- Biotechnology, 8(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0184-2>
- Sindhu, R., Binod, P., & Pandey, A. (2016). RETRACTED: Biological pretreatment of lignocellulosic biomass—An overview. *Bioresource technology*, 199, 76-82. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.030>
- Singhania, R. R., Patel, A. K., Soccol, C. R., & Pandey, A. (2009). Recent advances in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 44(1), 13-18. <http://doi.org/10.1016/j.bej.2008.10.019>
- Smid, E. J., & Kleerebezem, M. (2014). Production of aroma compounds in lactic fermentations. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5(1), 313-326. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030713-092339>
- Soccol, C. R., Da Costa, E. S. F., Letti, L. A. J., Karp, S. G., Woiciechowski, A. L., & de Souza Vandenberghe, L. P. (2017). Recent developments and innovations in solid state fermentation. *Biotechnology Research and Innovation*, 1(1), 52-71. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.01.002>
- Song, J., Ma, Y., Zhang, H., Wang, L., Zhang, Y., & Zhang, G. (2023). Fermented total mixed ration alters rumen fermentation parameters and microbiota in dairy cows. *Animals*, 13(6), 1062. <https://doi.org/10.3390/ani13061062>
- Stanbury, P. F., Whitaker, A., & Hall, S. J. (2016). *Principles of fermentation technology*. Butterworth-Heinemann. <http://doi.org/10.1016/C2013-0-00186-7>
- Stewart, R. D., Auffret, M. D., Warr, A., Walker, A. W., Roehe, R., & Watson, M. (2019). Compendium of 4,941 rumen metagenome-assembled genomes for rumen microbiome biology and enzyme discovery. *Nature biotechnology*, 37(8), 953-961. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0202-3>
- Su, Y., Chen, G., Cai, Y., Gao, B., Zhi, X., & Chang, F. (2020). Effects of *Broussonetia papyrifera*-fermented feed on the growth performance and muscle quality of Hu sheep. *Canadian Journal of Animal Science*, 100(4), 771-780.

- Suriyapha, C., Suntara, C., Wanapat, M., & Cherdthong, A. (2022). Effects of substituting agro-industrial by-products for soybean meal on beef cattle feed utilization and rumen fermentation. *Scientific Reports*, 12(1), 21630. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26191-1>
- Sváb J. (2008). *Biometriai módszerek a kutatásban*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature food*, 2(7), 494-501. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell university press. ISBN: 0-8014-2772-X
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vasupen, K., Yuangklang, C., Sarnklong, C., Wongsuthavas, S., Mitchaothai, J., & Srenanul, P. (2006). Effects of total mixed ration and fermented total mixed ration on voluntary feed intake, digestion nutrients digestibility, and milk production in lactating dairy cows. ISBN: 974-537-826-7
- Villadsen, J., Nielsen, J., & Lidén, G. (2011). *Bioreaction engineering principles*. Springer Science & Business Media. ISBN: 978-1-4419-9687-9
- Walker, G. M., & Stewart, G. G. (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages. *Beverages*, 2(4), 30. <https://doi.org/10.3390/beverages2040030>
- Wang, L., Jin, S., Wang, P., Li, X., Liu, C., Sun, S., ... & Zhu, Q. (2024). Fermented total mixed ration enhances nutrient digestibility and modulates the milk components and fecal microbial community in lactating Holstein dairy cows. *Frontiers in veterinary science*, 11, 1408348. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1408348>
- Wang, Z., Yu, Y., Li, X., Xiao, H., Zhang, P., Shen, W., ... & Yao, H. (2021). Fermented soybean meal replacement in the diet of

- lactating Holstein dairy cows: modulated rumen fermentation and ruminal microflora. *Frontiers in Microbiology*, 12, 625857. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.625857>
- Weatherburn MW. 1967. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Anal Chem.* 39(8):971–974. <https://doi.org/10.1021/ac60252a045>
- Western, M. M., de Souza, J., & Lock, A. L. (2020). Milk production responses to altering the dietary ratio of palmitic and oleic acids varies with production level in dairy cows. *Journal of dairy science*, 103(12), 11472-11482. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18936>
- Wilkinson, J. M., & Rinne, M. (2018). Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. *Grass and Forage Science*, 73(1), 40-52. <https://doi.org/10.1111/gfs.12327>
- Wilson, A. D. (2013). Diverse applications of electronic-nose technologies in agriculture and forestry. *Sensors*, 13(2), 2295-2348. <https://doi.org/10.3390/s130202295>
- Wilson, A. D., & Baietto, M. (2009). Applications and advances in electronic-nose technologies. *sensors*, 9(7), 5099-5148. <https://doi.org/10.3390/s90705099>
- Woertz, K., Tissen, C., Kleinebudde, P., & Breitkreutz, J. (2011). Taste sensing systems (electronic tongues) for pharmaceutical applications. *International journal of pharmaceutics*, 417(1-2), 256-271. <http://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2010.11.028>
- Wongnen, C., Wachirapakorn, C., Patipan, C., Panpong, D., Kongweha, K., Namsaen, N., ... & Yuangklang, C. (2009). Effects of fermented total mixed ration and cracked cottonseed on milk yield and milk composition in dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(12), 1625-1632. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80668>
- Yafetto, L., Odamtten, G. T., & Wiafe-Kwagyan, M. (2023). Valorization of agro-industrial wastes into animal feed through microbial fermentation: A review of the global and Ghanaian case. *Heliyon*, 9(4). <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14814>

- Yao, K. Y., Gu, F. F., & Liu, J. X. (2020). In vitro rumen fermentation characteristics of substrate mixtures with soybean meal partially replaced by microbially fermented yellow wine lees. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 18-24. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1686433>
- Yusuf, H. A., Rehemujiang, H., Ma, T., Piao, M., Huo, R., & Tu, Y. (2022). Fermented Total mixed ration with cottonseed meal or rapeseed meal improved growth performance and meat quality of Hu lamb compared to Total mixed ration with soybean meal. *Fermentation*, 8(11), 576. <https://doi.org/10.3390/fermentation8110576>
- Yuwono, A., & Lammers, P. S. (2004). Performance test of a sensor array-based odor detection instrument.
- Zhang, G., Li, Y., Fang, X., Cai, Y., & Zhang, Y. (2020). Lactation performance, nitrogen utilization, and profitability in dairy cows fed fermented total mixed ration containing wet corn gluten feed and corn stover in combination replacing a portion of alfalfa hay. *Animal Feed Science and Technology*, 269, 114687. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114687>
- Zhang, Z., Cai, W., Wei, X., He, B., Liu, Y., Zhang, X., ... & Wang, C. (2025). Dietary supplementation with microbially fermented rice bran promotes lactation performance in dairy cows by increasing rumen fermentation performance and nutrient digestibility. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1713279. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1713279>
- Żółkiewicz, J., Marzec, A., Ruszczyński, M., & Feleszko, W. (2020). Postbiotics—a step beyond pre-and probiotics. *Nutrients*, 12(8), 2189. <https://doi.org/10.3390/nu12082189>

12. PUBLIKÁCIÓS LISTA

A disszertáció témakörében megjelent publikációk

Idegen nyelvű tudományos közlemények

Bana, B., & Zsédely, E. (2025). Alternative fermented feeds in ruminant nutrition: Effects on rumen fermentation and milk production (a review). *Acta Agronomica Óváriensis*, 66(2), 84–98.

Magyar nyelvű tudományos közlemények

Bana, B., & Zsédely, E. (2025). Az elektronikus orr fejlődése és alkalmazása: II. Az elektronikus orr szerepe az élelmiszeriparban és a mezőgazdaságban. *Acta Agronomica Óváriensis*, 66(1), 111–134.

Bana, B., Nagy, T. E., Takács, G., Alpár, B., Tóth, T., & Zsédely, E. (2025). A folyadékfázisú fermentáció (LSF) hatása a búzadara–korpa–szójadara abrakkeverék bendőbeli lebonthatóságára szarvasmarhában (in sacco vizsgálat). *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 74(4), 296–310.

Bana, B., & Zsédely, E. (2024). Az elektronikus orr fejlődése és alkalmazása: I. Az elektronikus orr története és típusai. *Acta Agronomica Óváriensis*, 65(2), 18–28.

Konferenciaközlemények

Bana, B., & Zsédely, E. (2024). Fermentált abraktakarmányok modellvizsgálata szarvasmarhákkal. In E. Bényi, Á. Bodnár, F. Pajor, & P. Póti (Szerk.), IX. Gödöllői Állattenyésztési Tudományos Nap: Előadások és poszterek összefoglaló kötete = 9th Scientific Day of Animal Breeding in Gödöllő: Book of Abstracts of Presentations and Posters (p. 19). Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus.

Bana, B., Zsédely, E., Székelyhidi, R., Ásványi, B., & Bázár, Gy. (2024). Innovatív mérési technika a takarmányok minősítésére.

In Sz. Bene (Szerk.), XXX. Ifjúsági Tudományos Fórum: Konferenciakötet (pp. 62–66). Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus.

Bana, B., Trombitás, M., Alpár, B., Zsédely, E., Ásványi, B., Hanczné Lakatos, E., Varga, L., & Tóth, T. (2023). Folyékonyan fermentált abraktakarmányok etetésének hatása a tej mennyiségére és összetételére egy hazai tejelő tehenészetben (Effects of feeding a fermented concentrate on milk yield and composition in a domestic dairy herd). In Z. Molnár & K. Némethné Wurm (Szerk.), 39. Óvári Tudományos Nap Konferencia.

Konferencia-előadások

Tóth, T., Molnár, J., Alpár, B., Lakatos, E., Ásványi, B., Trombitás, M., Bana, B., Zsédely, E., Bázár, Gy., Fébel, H., et al. (2024). Folyékony fázisú fermentáció (LSF) alkalmazási lehetőségei a brojlercsirkék és a tejelő tehenek takarmányozásában [Konferencia-előadás]. A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya, Állattudományi Tudományos Bizottságának ülése, Szalkszentmárton.

Magyar nyelvű ismeretterjesztő közlemények

Bana, B. (2025). A fermentált takarmányok felhasználhatósága kérődző állatoknál. Agrárágazat.

Molnár, J., Tóth, T., Csizmazia, D., Zsédely, E., Alpár, B., Bana, B., Ásványi, B., Lakatos, E., Berczi, E., & Varga, L. (2023). Brojlercsirkék előtetezése fermentált takarmány-kiegészítéssel. Agro Napló, 27(4), 45–46.

A disszertáció témakörén kívül megjelent publikációk

Magyar nyelvű tudományos közlemények

- Bana, B., & Tőzsér, J. (2025). A rovarok tenyésztésének és hasznosításának lehetőségei napjainkban: Irodalmi összefoglaló. Magyar Állatorvosok Lapja, 147(9), 555–569.
- Bana, B., Ledóné Ábrahám, R., Gallen, A., & Tőzsér, J. (2025). Az Európai Unióban engedélyezett rovarfajok elemzése: Szakirodalmi áttekintés. Acta Agronomica Óváriensis, 66(2), 118–130.
- Bana, B., Gallen, A., & Tőzsér, J. (2025). A fekete katonalégység jelentősége a körforgásos gazdaságban. Állattenyésztés és Takarmányozás, 74(2), 123–137.

Konferenciaközlemények

- Bana, B. (2026). Rovarfehérjék szerepe a fenntartható élelmiszer- és takarmányellátási láncokban. In B. Bana & M. Karácsonyi (Szerk.), Fenntartható Fogyasztás és Termékbiztonság Konferencia.
- Bana, B., Karácsonyi, M., & Tőzsér, J. (2025). Comparison of silk-producing moths: A comparative study of the biological and rearing characteristics of Bombyx mori and Samia ricini. In Z. Molnár & K. Némethné Wurm (Szerk.), 40th Óvár Scientific Day International Conference “Green Deal and agriculture: Sustainability or competitive advantage?”: Book of abstracts (p. 180). Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar.
- Bana, B., Gallen, A., & Tőzsér, J. (2025). A fekete katonalégység szerepe a fenntartható fejlődésben [Konferenciaközlemény].
- Bana, B., Hetényi, N., Gallen, A., & Tőzsér, J. (2025). The importance of the black soldier fly (Hermetia illucens) in circular farming. In Agriculture and Food, 13th International Conference (p. 38).

13. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném kifejezni őszinte hálámat mindazoknak, akik szakmai tudásukkal, segítségükkel és támogatásukkal hozzájárultak doktori értekezésem elkészítéséhez.

Mindenekelőtt hálás köszönettel tartozom dr. habil. Zsédely Eszter egyetemi docensnek, dékánhelyettes asszonynak, témavezetőmnek, aki szakmai iránymutatásával, értékes tanácsaival, türelmével és példamutató munkájával végig segítette kutatómunkámat, és nagymértékben hozzájárult ahhoz, hogy doktori értekezésem elkészülhessen.

Köszönettel tartozom dr. Tóth Tamás kutatóprofesszornak, dékán úrnak, aki értékes szakmai tanácsaival és támogatásával segítette a kutatás megvalósítását.

Őszinte köszönetemet fejezem ki dr. habil. Húth Balázs egyetemi docensnek, az Állattudományi Tanszék vezetőjének, Tanszékvezető úrnak, valamint az Állattudományi Tanszék valamennyi munkatársának, azért a támogató szakmai környezetért és háttérért, amely lehetővé tette e doktori munka elkészítését.

Köszönettel tartozom dr. Fébel Hedvig professzor asszonynak, hogy lehetőséget biztosított a juhokkal végzett kísérletek megvalósítására.

Köszönetemet fejezem ki az Agrofeed Kft.-nek, valamint külön Alpár Botondnak, akik lehetővé tették a takarmányok fermentálásának megvalósítását.

Köszönöm Trombitás Martinnak, hogy segítségével az üzemi vizsgálat sikeresen megvalósulhatott.

Köszönettel tartozom Dr. habil. Ásványi Balázsnak és Hatvan Zoltánnak a fermentumok elkészítésében nyújtott nélkülözhetetlen segítségükért.

Külön köszönettel tartozom az Adexgo Kft. munkatársainak az elektronikus orral végzett aromaelemzések elvégzéséért.

Köszönöm dr. Takács Georgina tudományos munkatársnak, hogy elvégezte a disszertáció elkészítéséhez szükséges kémiai vizsgálatokat. Hálás vagyok Lengyelne Thurner Hajnalka, Burecs Krisztián és Szücs Tamás segítségéért, amelyet a szarvasmarhákkal végzett vizsgálatok során nyújtottak.

Köszönettel tartozom Dr. Varga László egyetemi tanárnak, professzor úrnak, valamint Dr. Tőzsér János egyetemi tanárnak, professzor úrnak, hogy értékes tudományos tanácsaikkal, és folyamatos támogatásukkal hozzájárultak kutatómunkám sikeréhez, valamint szakmai fejlődésemhez.

Végezetül, de nem utolsósorban szeretném megköszönni családomnak szeretetüket, türelmüket, biztatásukat és azt a folyamatos támogatást, amely nélkül e doktori értekezés nem készülhetett volna el.