

A TEJELŐ TEHENEK TAKARMÁNYOZÁSÁNAK ÚJ ASPEKTUSAI, INNOVATÍV TAKARMÁNYVIZSGÁLATI MEGOLDÁSOK

Tóth Tamás¹, Bázár György², Tóthi Róbert³, Fébel Hedvig³, Haruna Yakubu Gado³

¹Széchenyi István Egyetem, Agrár- és Élelmiszerkutató Központ, ²ADEXGO Kft., ³Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kaposvári Campus, Élettani és Takarmányozástani Intézet

ÖSSZEFOGLALÁS

A klímaváltozás hatására hazánkban is át kell értékelni a jelenlegi takarmánybázisunk összetételét (kukoricaszilázs-kukorica alapú takarmányozás), és olyan tömegtakarmány-növényeket is célszerű termesztetni (pl. új típusú/szárazságtűrő/bmr silókukorica hibridek, cirokfélék, silókukorica-cirok keverékek, korai betakarítású gabonafélék, olaszperjék, gabona-gabona, gabona-pillangós, gabona-fűkeverékek stb.) melyeket vagy a nyári időszak előtt be lehet takarítani, vagy jobban bírják a szárazabb, melegebb időjárási körülményeket. Egy átfogó kutatás keretében 2017-2021 között több, hazai körülmények között is termesztett gabona- ill. gabona-fűkeverék-szilázs szárazanyag- és táplálóanyag-tartalmának bendőbeli (in sacco) lebonthatóságát és emészthetőségét értékeltük. Megállapítottuk, hogy az egyes gabona- ill. gabona-olaszperje szilázsok között a szárazanyag- és a táplálóanyag-tartalom lebomlás tekintetében jelentős (szignifikáns) eltérések lehetnek. Az anyagcsere ketrecben elvégzett emészthetőségi vizsgálatban a fontosabb táplálóanyagok (nyersfehérje-, nyerszsír-, nyersrost-, N-mentes kivonható anyag-, neutrális detergens rost- és savdetergens rosttartalom) emészthetősége 69,8-75,1% között volt, melyek a hagyományos tömegtakarmányokhoz (pl. kukoricaszilázs, lucernaszenázs) viszonyítva jó értékeknek tekinthetők.

Áttekintésünkben röviden érintjük a tejelő tehéntartás környezetterhelésre gyakorolt hatását. A jelenlegi kutatási eredmények alapján úgy tűnik, hogy a precíziós állattartás (PLF) és takarmányozás, kiegészítve a racionális földhasználattal (precíziós növénytermesztés) ill. a korszerű trágyakezelési stratégiákkal jelenthetik a megoldást ebben a kérdésben.

A műszaki-technológiai fejlődésnek köszönhetően ma már a tejelő szarvasmarha telepeken nemcsak a fejés, hanem a takarmányozás teljes automatizálása is megoldható ún. keverő-kiosztó robotokkal (pl. szenzorokkal vezérelve), melyre vonatkozóan még kevés számú hazai eredmény áll rendelkezésre. A külföldi vizsgálatok adatai szerint a napi takarmányadag kiosztás gyakoriságának növelése (pl. 6-ról 11-re) zavarja az állatok megszokott napi rutinját, így negatív hatással van az állatjóléti és termelési paraméterekre egyaránt. Automata takarmányozási rendszerek esetén az etetett tartósított tömegtakarmányok, teljes és részleges takarmánykeverékek (TMR, PMR) minőségét folyamatosan vizsgálni kell, és a silózási adalékanyagok (pl. tejsavtermelő baktérium kultúrák, szelektív mikrobagátló anyagok, biológiai tartósítószer stb.) használata különösen indokolt lehet.

A takarmánykiosztás automatizálása mellett fontos információt jelent a takarmányfelvétel egyed szinten történő nyomonkövetése is, melyre vonatkozóan számos új technológiai megoldás rendelkezésre áll. A gyakorlat számára a takarmányozás hatékonyságának fokozására megoldást jelenthet az ún. precíziós takarmánykorlátozás is, mely kellő körülbekintés esetén javítja a takarmányhasznosítást a termelési eredmények romlása nélkül, és egyben mérsékelhető a tejelő tehéntartás metánkibocsátása.

Egyik oldalról az automatizált takarmányozási megoldások, másrészt a klimatikus viszonyok megváltozása miatt tapasztalható változó összetételű és minőségű alapanyagok szükségessé teszik olyan vizsgálati módszertanok alkalmazását, amelyekkel a takarmányalapanyagok és a kiosztásra kerülő adagok beltartalmi mutatói gyorsan, telepi körülmények között mérhetőek. A szaktanácsadók és telepi dolgozók által használható kézi eszközök mellett növekvő igény mutatkozik a különböző eszközökbe szerelt mérőberendezések alkalmazása iránt, melyek a telepírányítási informatikai rendszerbe integrálva folyamatosan képesek adatot szolgáltatni a felhasznált anyagok összetételét illetően, segítve ezzel a receptúra pontos betartását.

Az utóbbi évek technológiai fejlődésének köszönhetően a gyorsvizsgáló módszerek mérési pontossága jelentősen javult, ezzel az agrár-élelmiszeripari ágazatban is megnyílt a lehetőség az idő- és munkaigényesebb hagyományos analitikai mérésekről a gyors elemzésre és monitorozásra való átállásra. A gyorsvizsgáló módszereknél a „gyorsaság” önmagában nem cél, a megnövelt sebesség mellett más kritériumokat is figyelembe kell venni, amelyek mérlegelése vezet a felhasználásra legalkalmasabb módszerek kiválasztásához.

A korrelatív gyorsvizsgáló eljárások, például a közeli-infravörös (NIR) spektroszkópia és műszeres aromaelemzés (e-orr), kiválóan alkalmasak folyamatok nyomon követésére és gyors döntések kialakítására, főként olyan esetekben, amikor a gyorsvizsgálat alapján megbízhatóan, minimális hibával becsülhető tulajdonság laboratóriumi mérése napokig is eltarthat. Az említett gyorsvizsgáló módszertanok esetében egy mérés több tulajdonságról információt szolgáltat, és akár nem célzott elemzések (komplex minőségellenőrzés) is elvégezhetők az előre nem látható anomáliáinak felderítése céljából.

A különféle kialakítású NIR spektrométerekkel már számos anyag telepi vizsgálata végezhető el, legyen szó a különböző takarmány alapanyagokról, elkészített adagokról (TMR, PMR), vagy a termelt tejről, esetleg az állatok élettani paramétereit mutató egyéb állati termékekről (pl. vér, vizelet, bélsár). Az e-orr rendszerek bizonyos formái ugyan elérhetőek már hordozható kivitelben is, de a megbízható aromaelemzést biztosító technológiák még laboratóriumhoz kötöttek. Ezek használatával lehetőség van mind a takarmányok, mind az állati termékek aromájának objektív leírására, adott esetben új takarmányok állati termékek minőségére gyakorolt hatásának vizsgálatára.

A vizsgálatok tervezése során mindig figyelemmel kell lenni a technológiák korlátaira – a sokoldalúság és könnyű használhatóság például nem jelenti azt, hogy a NIR spektroszkópia minden körülmények között a legmegfelelőbb választás.

SUMMARY

As a result of climate change, the composition of the current feed base (maize silage-maize-based feeding) must also be re-evaluated in Hungary, and it is also advisable to grow forage crops (e.g. new-type/drought-tolerant/bmr silage corn hybrids, sorghums, corn-sorghum mixtures, early-harvest cereals, Italian ryegrass, grain-grain, grain-forage peas, grain-grass mixtures, etc.) which can either be harvested before the summer period, or better withstand drier, warmer weather conditions. The in sacco rumen degradability and digestibility of the dry matter and nutrient content of domestically produced cereals and cereal-grass mixture silages were evaluated within a comprehensive research between 2017-2021. It was found that there may be significant differences in terms of the degradability of dry matter and nutrient content between certain cereal or cereal-Italian ryegrass silages. In the digestibility test carried out in the metabolic cage, the digestibility coefficients of the most important nutrients (crude protein, crude fat, crude fiber, nitrogen-free extract, neutral detergent fiber and acid detergent fiber content) were between 69.8-75.1%, which can be considered good values compared to traditional feedstuffs (e.g., corn silage, alfalfa hay).

In our review, we briefly summarize the impact of dairy farming on the environment. Based on the current research results, it seems that precision livestock farming (PLF) and feeding, supplemented with rational land use (precision crop cultivation) or modern manure management strategies can be the solution to this issue.

Thanks to the technical-technological development, it is now possible to fully automate not only milking (automatic milking system, AMS) but also feeding (automatic feed system, AFS) on dairy farms with mixing-distributing robots (e.g. controlled by sensors), for which there are still few domestic results available. According to data from international studies, increasing the frequency of daily feed ration distribution (e.g. from 6 to 11) disturbs the animals' usual daily routine, thus having a negative effect on both animal welfare and production parameters. In the case of automatic feeding systems, the quality of the fed ensiled forages, total and partial mixed rations (TMR, PMR) must be constantly checked, and the use of ensiling additives (e.g. lactic acid-producing bacteria cultures, selective anti-microbial substances, biological preservatives, etc.) may be particularly justified.

In addition to the automation of feed distribution, important information is also provided by the monitoring of feed intake at the individual level, for which many new technological solutions are available. The so-called

precision feed restriction could also be useful for practice, which, with due care, improves feed utilization without deteriorating production results, and at the same time methane emissions from dairy farming can also be reduced.

On the one hand, automated feeding solutions and, on the other hand, raw materials of variable composition and quality due to climate changes make it necessary to apply testing methodologies to quickly measure the composition of feed compounds and rations to be distributed, under farm conditions. In addition to the handheld devices that can be used by consultants and farm workers, there is a growing demand for the use of measuring systems installed in various devices, which, when integrated into the farm management IT system, are able to continuously provide data on the composition of the materials used, thereby helping to accurately follow the calculated nutrients content of TMR or PMR.

Thanks to the technological development of recent years, the accuracy of rapid analytical methods has improved significantly, thus allowing the agri-food industry to switch from traditional analytical measurements, which are more time-consuming and labor-intensive, to rapid analysis and monitoring. In the case of rapid analytical methods, "rapid" is not a goal in itself; in addition to the increased speed, other criteria must also be taken into account, the consideration of which leads to the selection of the most suitable methods for use.

Correlative rapid analytical methods, such as near-infrared (NIR) spectroscopy and aroma analysis with machine sensing (e-nose), are excellent for monitoring processes and making quick decisions in cases where the laboratory measurement of a property that can be reliably estimated based on the rapid test can take days. In the case of the mentioned rapid methodologies, one measurement can provide information on several properties, and even non-targeted analyzes (complex quality control) can be performed in order to detect unforeseen anomalies.

NIR spectrometers of various designs can already be used to test many substances under farm conditions, for example different feed ingredients, prepared rations, produced milk, or other animal products reflecting the physiological parameters of animals (e.g. blood, urine, feces). Certain forms of e-nose systems are already available in portable versions, but the technologies that ensure reliable aroma analysis are still limited to laboratories. By using those, it is possible to objectively describe the aroma of both feeds and animal products, and if applicable, to examine the effect of new feeds on the quality of animal products.

During the planning of tests, the limitations of the technologies must always be taken into account - for example, versatility and ease of use do not mean that NIR spectroscopy is the best choice in all circumstances.

A korai betakarítású tömegtakarmányok növekvő szerepe

Az elmúlt években már hazánkban is érzékelhető klímaváltozás az átlaghőmérséklet növekedését, a szélsőséges hóhullámos napok gyakoribb előfordulását, a nyár szárazabbá válását, illetve a téli időszak kiszámíthatatlan csapadékellátását okozza. A silókukorica termésbiztonsága a jövőben veszélybe kerülhet, ha a várható európai és magyarországi klímaváltozás a nyári hóhullámok gyarapodásával és a jelenleginél szélsőségesebb csapadékvíz eloszlással jár. Egy közelmúltban publikált eredmény szerint (1. táblázat), amennyiben az átlaghőmérséklet +2°C-kal nő a világon, akkor a betakarított kukorica összes mennyisége 7,9-17,8%-kal csökken a négy legfontosabb kukoricatermelő országban (USA, Kína, Brazília, Argentína), míg +4 °C-os átlaghőmérséklet emelkedés esetén már kb. 19,4-46,5%-os visszaeséssel lehet számolni (Tigchelaar és mtsai, 2018; Worku, 2021a).

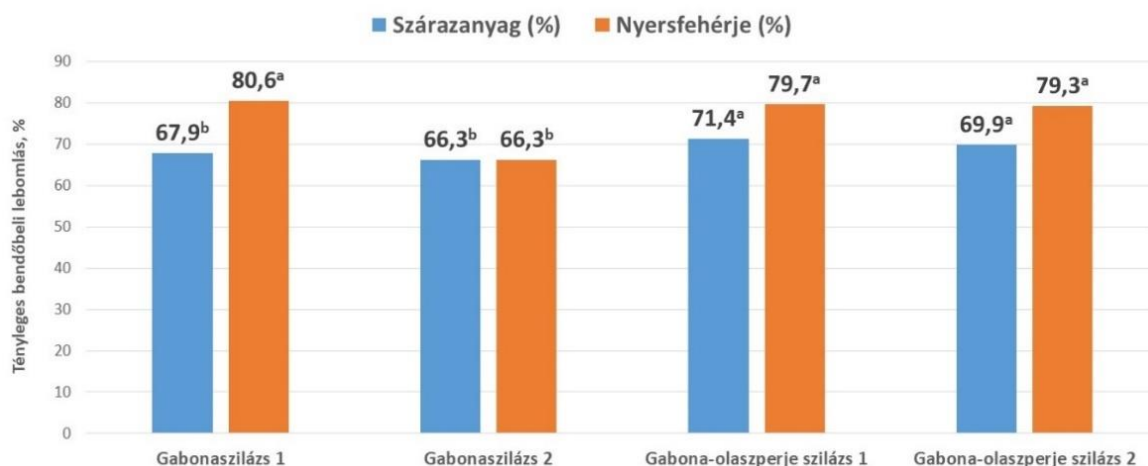
1. táblázat: A kukorica hozamának visszaesése +2°C és +4°C átlagos hőmérsékletnövekedés esetén (top 4 kukoricatermesztő ország)

Ország	+2 °C növekedés	+4 °C növekedés
USA	- 17,80%	- 46,50%
Kína	- 10,40%	- 27,40%
Brazília	- 7,90%	- 19,40%
Argentína	- 11,60%	- 28,50%

Forrás: Tigchelaar és mtsai (2018) és Worku (2021a) alapján

Az idei (2022. évi) nyárra is jellemző száraz és extrém időjárási körülmények kedveztek a bakteriális és gomba eredetű patogének megjelenésének és a mikotoxin termelésnek (főleg *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*). Ismert, hogy a magas külső hőmérséklet mellett történő takarmánytartósítás (silózás) esetén csökken a szilázsokban és szenázsokban a tejsav koncentráció, romlik az anaerob stabilitás ill. a pH, és jelentős szárazanyag-vesztéssel is számolni kell. Mindezekből következően a tartósított takarmányok kémiai összetételét, pH-ját, illózsírsav- és tejsav-, továbbá mikotoxin-tartalmát fokozottan ellenőrizni kell. Hosszabb távon pedig, ahogy az elmúlt években számos hazai kutatás is kiemelte (pl. Lehel és mtsai, 2011; Orosz és mtsai, 2018a,b, 2019; Worku és mtsai, 2019a,b, 2020, 2021a,b,c), olyan tömegtakarmány-növényeket is célszerű termesztetni (új típusú/szárazságtűrő/bmr silókukorica hibridek, cirokfélék, silókukorica-cirok keverékek, korai betakarítású gabonafélék, olaszperjék, gabona-gabona, gabona-pillangós, gabona-fűkeverékek stb.) melyeket vagy a nyári időszak előtt be lehet takarítani, vagy jobban bírják a szárazabb, melegebb időjárási körülményeket.

Tekintettel arra, hogy a kukoricaszilázs részleges helyettesítésére alkalmas tömegtakarmányok egy részénél (pl. gabonakeverék szilázsok, olaszperje-gabonakeverék szilázsok) a szakirodalmi adatok eléggé hiányosak a táplálóanyagok bendőbeli lebonthatóságára és azok emészthetőségére vonatkozóan, ezért egy átfogó kutatás keretében 2017-2021 között több, hazai körülmények között is termesztett gabona- és gabona-fűkeveréknél elvégeztük az említett vizsgálatokat (Worku és mtsai, 2019a,b, 2020, 2021a,b). Az 1. ábrán foglaltuk össze a vizsgált gabona- és gabona-olaszperje szilázsok szárazanyag- és nyersfehérjetartalmának bendőbeli lebonthatóságát.

a,b: $p < 0,05$

Megjegyzés: Gabonaszilázs 1: 40% tritikálé + 30% zab + 20% árpa + 10% búza; Gabonaszilázs 2: 50% tritikálé + 40% árpa + 10% búza; Gabona-olaszperje szilázs 1: 55% olaszperje + 45% zab; Gabona-olaszperje szilázs 2: 40% olaszperje + 30% zab + 15% tritikálé + 10% árpa + 5% búza

1. ábra: A gabonaszilázsok ill. gabona-olaszperje szilázsok szárazanyag- és nyersfehérje-tartalmának bendőbeli lebomlása (Worku és mtsai, 2021b alapján)

A kapott adatokból látható, hogy az egyes gabona- és gabona-olaszperje szilázsok között a szárazanyag- és a táplálóanyag-tartalom lebomlás tekintetében jelentős ($p < 0,05$) eltérések lehetnek. Ennek oka, hogy a keverékekben lévő komponensek különböző bendőbeli lebomlással rendelkeznek (pl. tritikálé vs. zab). Az olaszperje szerepeltetése a keverékekben mind a szárazanyag, mind a fehérje esetén növeli a bendőbeli lebonthatóságot a csak gabonahányadot tartalmazó keverékekhez viszonyítva.

2. táblázat: Az olaszperje-gabona szilázsok nyersfehérje-, neutrális detergens rost- (NDF) és savdetergens rosttartalmának (ADF) tényleges ($k=8$) ill. potenciális bendőbeli lebonthatósága

	A-keverék	B-keverék
A nyersfehérje tényleges bendőbeli lebonthatósága, sz.a.%-ában	67,3	67,2
Az NDF potenciális bendőbeli lebonthatósága, sz.a.%-ában	80,2	94,3
Az ADF potenciális bendőbeli lebonthatósága, sz.a.%-ában	85,2	87,3

NDF=neutrális detergens rost; ADF=savdetergens rost

¹A-keverék: 40% olaszperje+20% tritikálé+20% zab+15% búza+5% árpa

²B-keverék: 55% olaszperje+45% zab

Az olaszperje-gabona keverékek (A-keverék: 40% olaszperje+20% tritikálé+20% zab+15% búza+5% árpa; B-keverék: 55% olaszperje+45% zab) esetén értékeltük az egyes rostfrakciók potenciális bendőbeli lebomlását is (Worku és mtsai, 2021c). Az erre vonatkozó adatokat a 2. táblázatban foglaltuk össze. Adataink igazolták, hogy a megfelelő vegetációs időben (olaszperje kalászhányása előtt) betakarított olaszperje-gabona keverékszilázs NDF- és ADF-tartalmának bendőbeli lebomlása kimagaslóan jónak tekinthető.

Az olaszperje-tritikálé-zab-búza-árpa keverékszilázsok fontosabb táplálóanyag-tartalmának emészthetőségét a MATE Takarmányozás-élettani Kutatócsoport munkatársai segítségével vizsgáltuk. A mért emészthetőségi értékek a 3. táblázatban találhatóak meg.

3. táblázat: Az olaszperje-tritikálé-zab-búza-árpa szilázs1 fontosabb táplálóanyagainak látszólagos emészthetősége (%)

Táplálóanyag	Látszólagos emészthetőség (%)	szórás
Szárazanyag	67,9	±1,48
Szerves anyag	72,1	±1,12
Nyersfehérje	73,4	±1,42
Nyerszsír	70,5	±3,03
Nyersrost	75,1	±2,31
N-mentes kivonható anyag	69,8	±1,21
Neutrális detergens rost, NDF	70,9	±2,39
Savdetergens rost, ADF	70,8	±2,17

¹40% olaszperje+20% tritikálé+20% zab+15% búza+5% árpa

Az anyagcsere vizsgálatban a fontosabb táplálóanyagok (nyersfehérje-, nyerszsír-, nyersrost-, N-mentes kivonható anyag-, neutrális detergens rost- és savdetergens rosttartalom) emészthetősége 69,8-75,1% között volt, mely jó értéknek tekinthető (Worku és mtsai, 2020).

Az in sacco és az ürökkel végzett emészthetőségi vizsgálatok adataiból az NRC (2001) energiaszámítási módszerével meghatároztuk az olaszperje-tritikálé-zab-búza-árpa keverékszilázs parciális nettó energiatartalmát (NE_m , NE_g , NE_l). Az azonos energiaszámítással közölt erjesztett tömegtakarmányok nettó energiaértékeit a 4. táblázatban foglaltuk össze (Worku és mtsai, 2020).

4. táblázat: Az olaszperje-gabonaszilázsok vizsgált parciális nettó energiatartalma néhány fontosabb tartósított tömegtakarmányhoz viszonyítva (NRC, 2001 táblázati adatai)

Megnevezés	NE_m	NE_g	NE_l
<i>Olaszperje-gabonaszilázs (kalászhányás előtt)¹</i>	5,74	3,32	5,37
Kukoricaszilázs (32-38% sz.a.)	6,57	4,06	6,07
Rozsszilázs (kalászhányásban)	5,73	3,30	5,36
Lucernaszilázs	5,39	3,01	5,02
Zabszilázs (szemérés fázisában)	5,15	2,76	4,81
Olaszperje szilázs (kalászhányásban)	4,98	2,64	4,69

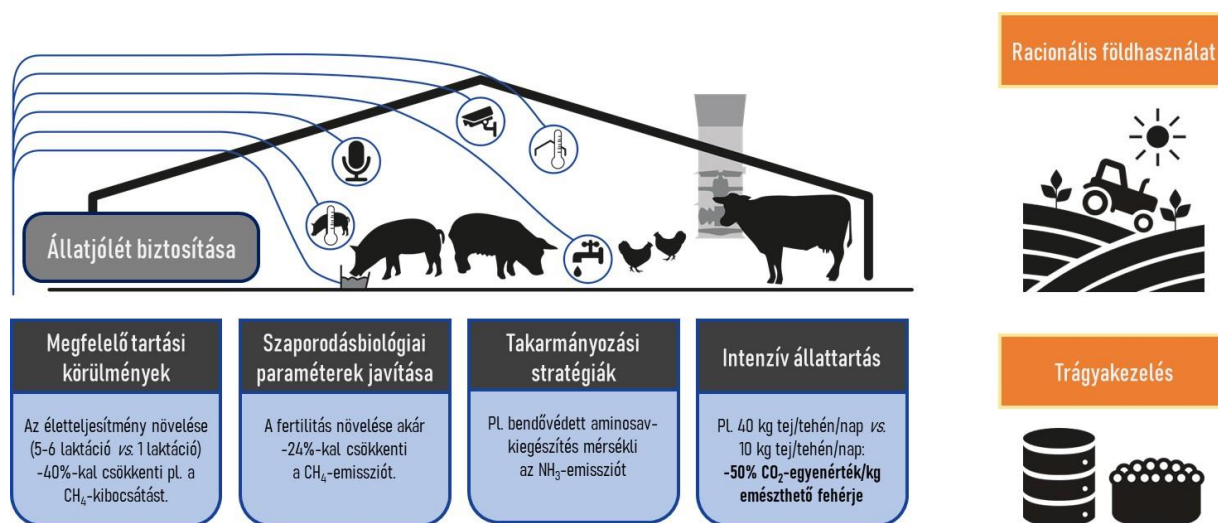
¹40% olaszperje+20% két tritikálé fajta+20% két őszi zabfajta+15% őszi búza+5% őszi árpa

Megjegyzés: NE_m =életfenntartási nettó energia; NE_g =súlygyarapodási nettó energia; NE_l = tejtermelési nettó energia

A megfelelő fenológiai fázisban betakarított és tartósított olaszperje-gabona szilázs nettó energiatartalma kedvezőbb, mind a gabonaszilázsoké (pl. tritikálé-, búza-, árpaszilázs) ill. az olaszperje szilázsoké. Külön előnynek tekinthető, hogy a hazai tejelő tehén takarmányozás gyakorlatában széles körben elterjedt rozsszilázsok nettó energiatartalmát elérte az olaszperje-gabonaszilázs értéke.

Precíziós állattartás: kulcs a környezeti terhelés csökkentésében

Irodalmi adatok szerint egységnyi termékre vonatkoztatva az intenzív állattenyésztés mérsékli a károsanyag-kibocsátást az extenzív állattartáshoz viszonyítva (Tullo és mtsai, 2018). Gerber és mtsai (2013) szerint intenzív körülmények között minden gazdasági haszonállatban [bőtejelő tehén- (naponta és állatonként 40 kg tejtermelés vs. 10 kg tejtermelés), intenzív húsmarhahízlalás (napi 1,5 kg súlygyarapodás vs. 1 kg súlygyarapodás alatt), sertéstartás (napi 900 g súlygyarapodás vs. 500 g súlygyarapodás), tojástermelés (90% tojástermelési intenzitás vs. 50% intenzitás)] akár 40-70%-kal is mérsékelhető a szén-dioxid-emisszió. Éppen ezért olyan megoldásokat célszerű javasolni a gyakorlat számára, amelyek képesek hatékonyan csökkenteni az állattartás környezeti hatásait a hazánkra jellemző állattenyésztési körülmények között. A jelenlegi kutatási eredmények alapján úgy tűnik, hogy a precíziós állattartás és takarmányozás, kiegészítve a racionális földhasználattal (precíziós növénytermesztés) és a korszerű trágyakezelési stratégiákkal, jelenthetik a megoldást ebben a kérdésben. Ezt foglalja össze – számos szerző kutatási eredményeire alapozva – a 2. ábra, néhány példa ismertetésével. Így pl. a szaporodásbiológiai eredmények javításával csökkenteni lehet az állattartás károsanyag-kibocsátását, mivel az alacsony fertilitás egyben nagyobb állatlétszámot igényel a termelési (pl. hús- és tejelőállítás) és szaporodásbiológiai célok megvalósításához.



Hristov és mtsai(2013); Tullo és mtsai(2018); van Sooster és mtsai(2020)

2. ábra: Az ammónia és az üvegházhatású gázok csökkentésének komplex stratégiája (Tóth és Fébel, 2021 különböző irodalmi adatok alapján)

A takarmányozás automatizálása keverő-kiosztó robotokkal

A műszaki-technológiai fejlődésnek köszönhetően ma már a szarvasmarha telepeken a takarmányozás teljes automatizálása is megoldható ún. keverő-kiosztó robotokkal (pl. GPS vevővel, szenzorokkal vezérelve), amelyek kötött pályán haladva, előre programozott gyakorisággal egyenletesen osztják ki az általuk elkészített homogén keveréket (teljes takarmánykeverék - TMR vagy részleges takarmánykeverék - PMR) a tehenek elé. Az automata takarmánykeverő-kiosztó robotok az állománylétszámtól (<50 tehén; 50-500

tehen; >500-1000 tehen) és az üzemmérettől (kis-, közepes- és nagyüzem) függően különböző műszaki kivitelben és teljesítményben megtalálhatóak a gyártó és forgalmazó cégek palettáján (Húth és Tóth, 2021).

A takarmánykeverő-kiosztó robotok gyakorlatban előforduló leggyakoribb megoldásai a következők (Hajdú, 2014 alapján):

- autonóm akkumulátor meghajtású kiosztó robot,
- kötöttpályás takarmány kiosztó robotok,
- takarmánykiosztó robottal vagy szalaggal üzemelő automata takarmányozási rendszerek,
- műholdvezérlésű autonóm takarmány-keverő kiosztó kocsi.



3. ábra: Felsőpályás takarmánykiosztó robot (Forrás: Húth és Tóth, 2021; Digitális Agrárakadémia)

A takarmányozási menedzsment a tejlő tehenészetek termelési eredménye és gazdaságossági mutatói szempontjából alapvető jelentőséggel bír. Habár a magyarországi tehenészetekben az automata takarmánykeverő-kiosztó robotok széleskörben még nem terjedtek el, fontos felhívni a hazai szakemberek figyelmét, hogy az ilyen típusú rendszerek esetén is fokozottan ügyelni kell arra, hogy naponta hányszor kerül takarmányadag a tejlő tehenek elé. Egy vizsgálatban Mattachini és mtsai (2019) fejőrobot és automata takarmányozási rendszerrel értékelték a naponta 11, illetve 6 alkalommal történő takarmányadag kiosztás hatását az állatok viselkedésére és termelési eredményeire (5. táblázat). A szerzők megállapították, hogy a napi takarmányadag kiosztás gyakoriságának növelése jelentősen csökkentette az etetés előtti pihenési időt ill. a fejések időtartamát, miközben a tejtermelési paraméterek (pl. nap átlagos tejtermelés) romlottak. A takarmányadag kiosztás gyakoriságának növelése, mivel zavarja az állatok megszokott, napi rutinját, negatív hatással van az állatjóléti és termelési paraméterekre egyaránt. Oberschatzl-Kopp és mtsai (2016) vizsgálati eredményei szerint az automata

fejési és takarmányozási rendszereknél a napi kétszeri takarmánykiosztás kevésbé hatékony, mint a hatszor történő etetés, mivel a tejelő teheneknek megnövekedett az állással és várakozással töltött ideje, ami negatív hatással volt a fejési idő hosszára és az állatok termelésére.

Az automatizált takarmánykeverő-kiosztó robotok több hazai tejelő tehenészetben hazánkban is megjelentek. Éppen ezért nagyon fontos lenne az automata takarmányozási technológia hazai elterjedésével párhuzamosan a tejelő tehenészetek figyelmét felhívni az optimális etetési gyakoriság kialakítására.

5. táblázat: A takarmányadag kiosztás gyakoriságának hatása a tejelő tehenek viselkedésére és termelésére automata takarmányozási rendszer és robotfejés mellett (Mattachini és mtsai, 2019)

Megnevezés	11× kiosztás	6× kiosztás
Fekvésre fordított idő (óra/nap)	11,4	11,8
Etetés előtti fekvési idő (perc)	28,3 ^b	31,1 ^a
Etetés utáni fekvési idő (perc)	30,9 ^a	26,9 ^b
Fejések hossza (perc)	7,7 ^b	7,9 ^a
Tejhozam (kg/nap)	31,8 ^b	32,3 ^a

a,b: min. $p < 0,05$

Az etetett tartósított tömegtakarmányok minőségét automata takarmányozási rendszerek esetén is folyamatosan vizsgálni kell, és ezeknél a takarmányozási rendszereknél a silózási adalékanyagok (pl. tejsavtermelő baktérium kultúrák, szelektív mikrobagátló anyagok, biológiai tartósítószeres stb.) használata különösen indokolt lehet.

6. táblázat: A takarmányadag (TMR) minőségének és mikrobiológiai státuszának alakulása automata etetési rendszerek esetén (Maier és mtsai, 2013)

Megnevezés	Élesztőszám (log CFU/g)		Környezeti hőmérséklet (°C)			TMR hőmérséklete (°C)	
	TMR ₀	TMR ₂₄	Átlag	Min.	Max.	TMR ₀	TMR ₂₀
Tél	1 etetés/nap	6,54	4,6	1,0	9,8	8,8	7,9
	6 etetés/nap	6,21				9,5	10,0
Nyár	1 etetés/nap	6,52	19,9	9,7	32,7	23,3	22,9
	6 etetés/nap	6,52				23,0	32,9

CFU = kolóniaképző egység

TMR = teljes takarmánykeverék

TMR₀ = közvetlenül a takarmánykeverést követően vett TMR minta

TMR_{20,24} = 20, illetve 24 órával a takarmánykeverést követően vett TMR minta

Maier és mtsainak (2013) eredményei szerint a nyári időszakban, mikor az átlaghőmérséklet meghaladja a 20°C-ot, az etetett TMR hőmérséklete, élesztőszáma az optimálisnál nagyobb lehet, ill. jelentősen csökkenhet a szilázsok és a teljes vagy részleges takarmánykeverékek aerob stabilitása (6. táblázat). Ellenben a téli időszakban (mikor az

átlaghőmérséklet 7°C alatt volt) a hatszori etetésből vett minták élesztőszáma és hőmérséklete 20-24 óráig nem mutatott lényeges növekedést a napi egyszeri etetésből származó mintákhoz viszonyítva. Erre vonatkozóan további vizsgálatokra van szükség, a hazánkra jellemző klimatikus tényezők mellett is.

A takarmánykiosztás automatizálásán túl fontos információt jelent a takarmányfelvétel egyed szinten történő nyomonkövetése, amelyre vonatkozóan a gyártók különböző megoldásokat kínálnak. A 4. ábrán bemutatott takarmánymérő eszközök segítségével étvágy szerinti (*ad libitum*) vagy korlátozott etetést is meg lehet valósítani, így a tejelő- és a húshasznosítású szarvasmarháknál egyaránt lehet alkalmazni. A MATE kaposvári Tangazdaságában Holló és mtsai (2021) charolais bikákkal végeztek vizsgálatot és megállapították, hogy a szárazanyag-felvétel és a takarmányértékesítés között nagyon szoros kapcsolat van. Az általuk használt HOKOFARM rendszer és a vizsgálat során kapott számított takarmányozási indexek (RCI/RFI – reziduális takarmányfelvétel, vagyis a tényleges és az elvárt napi szárazanyagfelvétel különbsége) költséghatékony megoldások a teljesítményparaméterek objektív értékelésekor. Mivel az etetővályú megközelítésekor az egyed azonosítása is megtörténik, ill. a takarmány- és/vagy ivóvízfelvétel mennyisége és időtartama is rögzítésre kerül, az ilyen típusú rendszerek a tejelő tehenészetekben alkalmasak az egyedek egyéb viselkedési és állatjóléti paramétereinek a nyomon követésére, éppen ezért a jövőben a precíziós állattartás (PLF) fontos eszközei lesznek.



Az RFI (takarmányvisszahagyás) mérésére szolgáló RIC (napi egyedi takarmánykeverék felvételt mérő) rendszer a MATE Kaposvári Campusán



...és a Széchenyi István Egyetemen

4. ábra: Egyedi takarmányfelvétel mérésére szolgáló rendszerek
(Forrás: Húth és Tóth, 2021; Digitális Agrárakadémia)

Ismert, hogy a takarmányozási költségek az összes költségen belül az USA-ban kb. 46%-ot, míg az EU-ban kb. 50%-ot képvisel (USDA ERS, 2019; European Commission, 2018). Az elmúlt években kb. 5-10%-os növekedést lehetett ezen értékekhez képest tapasztalni a magyarországi tehenészetekben, így megállapítható, hogy a takarmányfelvétel optimalizálása, nyomonkövetése ill. a takarmányhasznosítás javítása a gazdaságosság javításában alapvető szerepet játszik. Az ún. precíziós takarmánykorlátozásra vonatkozóan Fischer és mtsai (2020) végeztek egy komplex vizsgálatot, ahol a takarmányfelvétel precíziós csökkentésével kívánták a tejelő tehenek termelési eredményeit javítani, miközben a károsanyagkibocsátást (metán) is mérsékelni szerették. Aláhipotézisük

szerint a leghatékonyabban termelő tehenek, kevesebb takarmányt vesznek fel, mint az állomány átlaga, mégis szignifikánsan jobb termelési, vemhesülési stb. eredményeket produkálnak. A csoportátlagot lényegesen meghaladó napi takarmányfelvétel összefüggésben lehet az emészthetőség hatékonyságával, mivel növekvő szárazanyagfelvétel esetében csökken a takarmányadag táplálóanyag-tartalmának emészthetősége. Ugyanakkor a takarmányfelvétel korlátozása annak ellenére, hogy növeli a táplálóanyagok hasznosulását általában csökkenti a tejtermelést ill. a napi tejjel termelt táplálóanyag-tartalmat (Santana és mtsai, 2019). Növendék üszőknél megállapították, hogy a precíziós takarmányozás javítja a takarmányhasznosítást a termelési eredmények romlása nélkül (Pino és mtsai, 2018). Ilyen lehetőséget biztosítanak pl. az automata abrakadagolók, melyek az egyedi azonosítást követően segítik elő az etetett takarmányadag minél jobb hasznosulását.

7. táblázat: Precíziós takarmánykorlátozás/mérés hatása a metánkibocsátásra és a tehenek termelésére (Fischer és mtsai (2020))

Megnevezés	<i>ad libitum</i>		Korlátozott		Korlátozott vs. <i>ad libitum</i> , p =
	Legkevesbé hatékony	Leghatékonyabb	Legkevesbé hatékony	Leghatékonyabb	
Szárazanyag-felvétel (kg/nap)	22,7 ^a	20,1 ^b	20,0	19,3	<0,001
Tejtermelés (kg/nap)	29,9	30,4	25,3	26,8	0,21
Tejfehérje (g/kg)	33,5	32,8	32,9	32,6	0,85
Tejzsír (g/kg)	42,2	40,0	41,5	39,3	0,28
Élősúlycsökkenés (kg/nap)	0,03 ^b	0,10 ^a	0,08	0,14	0,75
Metántermelés (g/nap)	502	486	453	459	0,05

a,b: p<0,05 (legkevesbé hatékony vs. leghatékonyabb)

A korábban említett vizsgálatban (Fischer és mtsai, 2020) igazolták, hogy a precíziós takarmánykorlátozás (-1,7 kg napi szárazanyagfelvétel) mérsékelte a metánkibocsátást, miközben a tehenek tejtermelése ill. a tej táplálóanyag-tartalma nem csökkent szignifikáns mértékben az *ad libitum* takarmányozáshoz képest (7. táblázat). Ugyanakkor további vizsgálatokat kell végezni arra vonatkozóan, hogy ez a javulás a táplálóanyagok jobb bendőbeli lebomlásából (főleg nyersrost-lebomlás javulása), vagy a kedvezőbb anyagcserehatékonyságból, esetleg mindkettőből adódik-e.

Innovatív takarmányvizsgálati megoldások

Az automatizált takarmányozási megoldások szükségessé teszik olyan vizsgálati módszertanok alkalmazását, amelyekkel a takarmányalapanyagok és a kiosztásra kerülő adagok beltartalmi mutatói gyorsan, telepi körülmények között mérhetőek. A szaknácsadók és telepi dolgozók által használható kézi eszközök mellett szükségessé válik a különböző eszközökbe szerelt mérőberendezések alkalmazása, melyek a telepírányítási

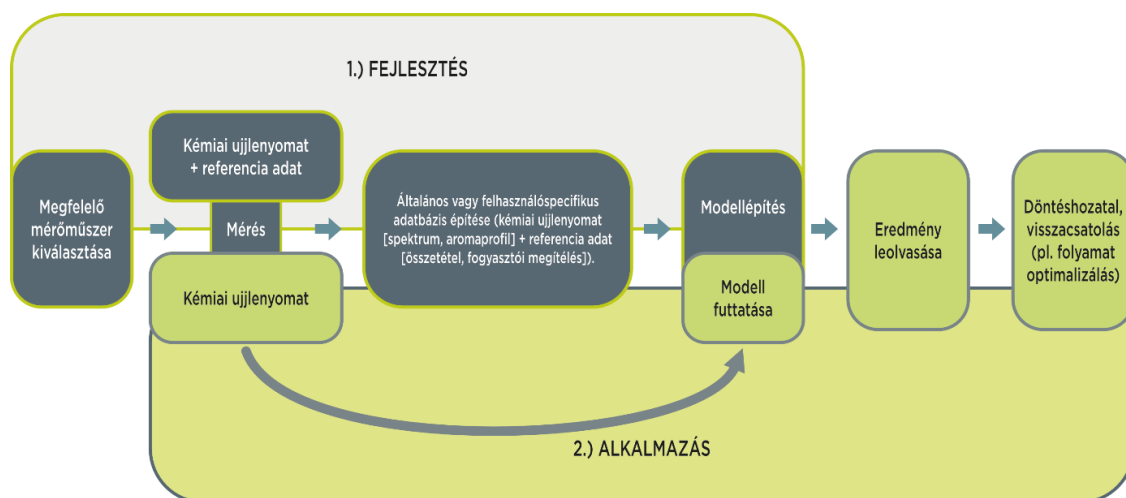
informatikai rendszerbe integrálva folyamatosan képesek adatot szolgáltatni a felhasznált anyagok összetételét illetően, segítve ezzel a receptúra pontos betartását.

Az alábbiakban bemutatásra kerülő gyorsvizsgálati módszerek az automatizálás terjedése mellett a klimatikus viszonyok megváltozása miatt tapasztalható változó összetételű és minőségű alapanyagok okán is egyre nagyobb hangsúlyt kapnak: például egy nagyon heterogén silókazalból kitárolt kukoricaszilázs vonatkozásában még fontosabbá válik azonnal megismerni az adott tétel pontos összetételét (pl. szárazanyag-, fehérje- és keményítőtartalmát), majd ahhoz igazítani a TMR vagy PMR összeállítását.

Az utóbbi évek technológiai fejlődésének köszönhetően a gyorsvizsgálati módszerek mérési pontossága jelentősen javult, ezzel az agrár-élelmiszeripari ágazatban is megnyílt a lehetőség az idő- és munkaigényesebb hagyományos analitikai mérésekről a gyors elemzésre és monitorozásra való átállásra. A „gyors” kifejezést többféleképpen használják a gyorsvizsgálatokról és azok fejlesztéséről, megítéléséről szóló vitákban. Meg kell jegyezni, hogy a „gyorsaság” önmagában nem cél. A gyors módszereknél a megnövelt sebesség mellett más kritériumokat is figyelembe kell venni, mint például a mintavétel és a minta-előkészítés, a többirányú analízis, az alacsonyabb kimutatási határok, a megbízhatóság, pontosság és érzékenység, az adatelemzés, a haszonnal arányos összköltség stb., amelyek mérlegelése vezet a felhasználásra legalkalmasabb módszerek kiválasztásához.

A korrelatív gyorsvizsgálati eljárások, például az alábbiakban tárgyalt közeli-infravörös (NIR) spektroszkópia és műszeres aromaelemzés (e-orr), kiválóan alkalmasak folyamatok nyomon követésére és gyors döntések kialakítására, főként olyan esetekben, amikor a gyorsvizsgálat alapján megbízhatóan, minimális hibával becsülhető tulajdonság laboratóriumi referencia mérése napokig is eltarthat. A hagyományos kémiai vizsgálatokkal szemben a gyorsvizsgálati módszerek általában nem igényelnek magasan képzett munkaerőt a rutinmérések során, nincs szükség reagensekre és oldószerekre, csökkentve ezzel az analízis költségét és a környezetterhelést. Egy mérés több tulajdonságról is információt szolgáltat, és akár nem célzott elemzések (komplex minőségellenőrzés) is elvégezhetők az előre nem látható anomáliáinak felderítése céljából – ez a megközelítés nem lehetséges a klasszikus analitikai módszerekben, mivel azok mindig bizonyos összetevőket céloznak meg, ahelyett, hogy egységesen mérnék fel egy minta állapotát.

Az ismeretvezérelt klasszikus kémiai analitikában kis elemszámú, jól megválasztott minta kevés tulajdonságának méréséből vonjunk le a hipotézisekre vonatkozó következtetéseket. Ezzel ellentétben, az adatvezérelt korrelatív analitikában nagy elemszámú mintát vizsgálunk, számos tulajdonságot mérve jelentős mennyiségű adatot gyűjtünk, majd a sokváltozós adatokat értékelve vonjuk le feltáró következtetéseinket. Nagy elemszámba alapozott átfogó tapasztalások alapján korrelatív megállapításokat teszünk, melyek révén új minták egyszerű és gyors mérési eredményeiből nagy értéket képviselő döntéseket tudunk meghozni (5. ábra).



5. ábra: A korrelatív gyorsvizsgálati módszerek fejlesztésének és alkalmazásának sematikus ábrája
(Forrás: www.adexgo.hu)

Közeli-infravörös (nir) spektroszkópia

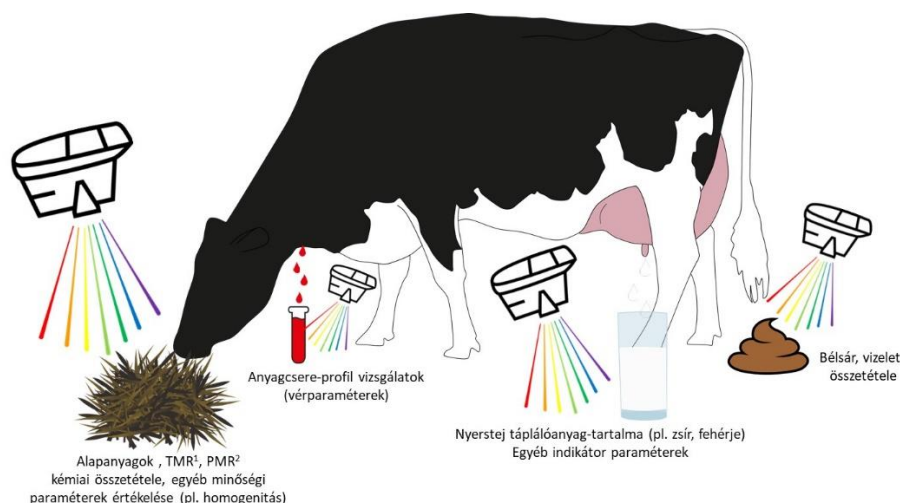
Az univerzálisan alkalmazható gyorsvizsgálatok téren a legnagyobb áttörést a közeli-infravörös (NIR) spektroszkópiára alapozott fejlesztések érték el, melyek napjainkra számos helyen teszik lehetővé nagy mennyiségű minta időszakos vagy akár folyamatos vizsgálatát.

A NIR spektroszkópia a fény és a vizsgált minta molekuláinak kölcsönhatásán alapuló mérési technika. Az infravörös fotonok a biológiai mintákban előforduló kémiai kötések egy részét gerjeszteni képesek. A gerjesztéshez szükséges energiát hordozó fényt a minta elnyeli, így a fényelnyelési tartományok elemzésével lehetőség nyílik a kémiai összetétel (pl. szárazanyag- és fehérjetartalom) jellemzésére. A módszer hatalmas előnye, hogy a kezdeti tanító adatbázis felállítását követően a tanító mintákhoz hasonló, de új, ismeretlen összetételű minták tulajdonságai már csupán a spektrumok alapján is meghatározható, illetve egy minta spektrumából a kalibrációtól függően akár több tucat összetevő értéke is megadható.

A globális piacon tapasztalható hamisítási esetek és a hosszú szállítások okán fellépő minőségromlások éppúgy előtérbe helyezték a NIR spektroszkópiát, mint a gyorsasága és magas fokú megbízhatósága, valamint az a tény, hogy a mai parányi eszközök a mezőgazdasági vagy élelmiszeripari folyamatokba bárhová beilleszthetők. A nagyüzemi állattartás rendkívül standard takarmányminőséget vár el, melynek biztosítása érdekében ma már elengedhetetlen a NIR technika rutinszerű alkalmazása. Számos olyan terület van, ahol a NIR eszközök a gyártási folyamat vagy minőségellenőrzés alapvető elemei, és a miniatürizáció fejlődésével, pl. a MEM rendszerek technológia áttörésével (Bec és mtsai, 2020) egyre több ilyen alkalmazás fog megjelenni.

Yakubu és mtsai (2022) a jelenleg rendelkezésre álló NIR technikai háttér bemutatása mellett irodalmi összefoglalót közölnek a szarvasmarha takarmányozással és a tejtermékek előállításával kapcsolatos eredményekről. A feldolgozott irodalmi adatok alapján a különböző tartósított tömegtakarmányok vonatkozásában a nedvesség-, nyersfehérje-, nyershamu-, NDF, ADF- és keményítőtartalomra a gyakorlati körülmények között is használható NIR kalibrációk érthetők el, azonban a fermentációs termékek

menyisége, valamint az emészthetőségi és energiahasznosulási mutatók becslhetősége szerény. Szerzők azon tanulmányok alapján, ahol a laboratóriumi NIR spektrométereket vetették össze telepi körülmények között is használható spektrométerekkel, megállapították, hogy utóbbiakat is megbízható eredményeket szolgáltatnak a fent említett paraméterek vonatkozásában. Turza és mtsai (2002) tejelő tehenek bendőtartalmát vizsgálták, speciális, beültetett transzmissziós vizsgálófejjel ellátott optikai egységgel felszerelt érzékelővel. Mérési rendszerük lehetőséget teremtett az ecetsav, propionsav és az ammónia nitrogén nagy pontosságú in-vivo vizsgálatára. Újszerű, előkészítést nem igénylő vizsgálati eljárást dolgoztak ki Turza és mtsai (2006) az élettani státusz jellemzése érdekében, amennyiben szérum összfehérje-, összkoleszterin- és glükóztartalmat becsültek tehenek alvadásgátolt teljes vérében úgy, hogy a spektroszkópiás mérések mintatartójául közvetlenül a vércsöveket használták. Evangelista és mtsai (2021) összefoglalót közölnek a NIR technika tejelő tehenészetek telepi menedzsmentjében történő felhasználására vonatkozóan. A fontosabb alkalmazási területeket a 6. ábrán foglaljuk össze.



6. ábra: NIR-eszközök fontosabb alkalmazási területei a tejelő tehenészetekben (¹total mixed ration, teljes értékű takarmánykeverék; ²partial mixed ration, részleges takarmánykeverék)

A heterogén kémiai összetételű és fizikai szerkezetű minták (mint pl. a TMR és a PMR is) vizsgálata azonban jelentős kihívást jelent mind online, mind offline vizsgálatok esetében. A gyakorlati szakemberek számára alkalmas vizsgálóberendezések fejlesztése mellett elengedhetetlen a mérést végző személyek alapszintű képzése. A forgalmazók által kínált, hatalmas adatbázisokra épülő kalibrációk szintén számos helyzetben kínálnak kézenfekvő megoldást, ugyanakkor előnyös vagy szükséges lehet speciális, egy adott termékkörre jellemző, saját kalibrációk fejlesztése, amely kifejezetten komoly szakmai ismeretet és rutint feltételez. A kalibrációs modelleket sokszor befolyásolja negatívan egy kevésbé elemzett faktor, a referencia adat minősége. A referencia adatok gyenge megbízhatósága és pontossága jelentős mértékben ronthatja a NIR spektroszkópiás analízis eredményét.

A mennyiségi kalibrációkkal kapcsolatban gyakran felmerülő kérdés, hogy koncentrációt illetően mi a NIR technika alsó határa. Erre nehéz konkrét választ adni, mivel egy

adott összetevő mennyiségének NIR spektrum alapján történő becsülhetősége függ a vizsgált paraméter kémiai szerkezetétől, az ebből adódó NIR elnyelés mértékétől, a mintában jelen levő egyéb összetevőktől, a NIR elnyelések esetleges átfedéseitől, továbbá az alkalmazott NIR technika minőségétől, és nem utolsósorban a referencia módszer pontosságától és megbízhatóságától.

A takarmányok toxintartalmának NIR alapú vizsgálatával kapcsolatban viszonylag kevés irodalmi adat található. Növényi minták, így őrölt paprika (Kiskó, 1998; Hernandez-Hierro és mtsai, 2008), vagy kukorica (Berardo és mtsai, 2005) esetében találunk kedvező eredményeket. Sok esetben nincs biztosíték arra, hogy a vizsgálat során nem csupán a gomba fizikai jelenlétét, az ebből adódó szerkezetváltozás miatti fényszóródásváltozást sikerül kimutatni, vagy esetleg a gomba egyéb anyagcseretermékeire illesztettek kalibrációt, amely anyagcseretermékek egyébként a mikotoxintartalommal is korreláltak – a becslő modell tehát áttételesen képes a toxintartalom meghatározására. Hasznos megközelítés a Saranwong és Kawano (2005) által alkalmazott DESIR-NIR technika, melynek során a kimosott majd szűrőn felfogott és kiszáritott toxint mérik.

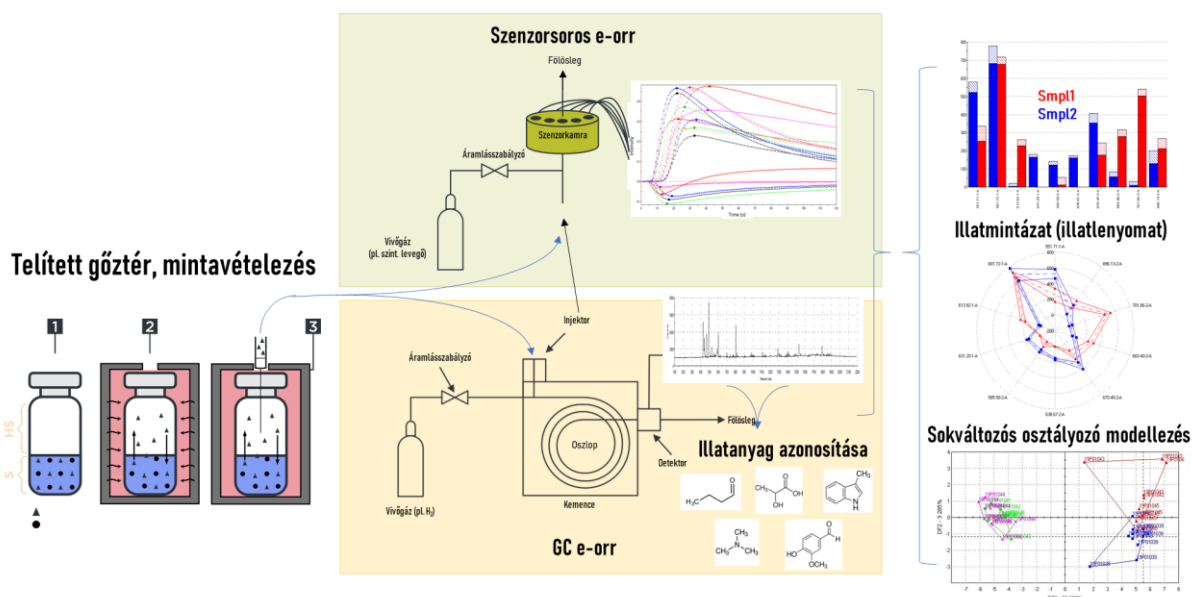
A NIR spektrométerek egy igen komplex fajtái a hiperspektrális képalkotást lehetővé tevő kamerák, melyekkel síkbeli mintázatok teljes spektroszkópiai térképe rögzíthető, amennyiben pixelenként lehetséges a spektrumok mérése. Ebben az esetben a makroszkóposan heterogén rendszerek vizsgálatára fizikai alegységek szintjén is lehetőség nyílik. A nagyszámú spektrális adatot eredményező eljárás elősegíti a mintában összességében kis koncentrációban jelenlevő, azonban annak bizonyos részein feldúsuló anyagok vizsgálatát (Bázár, 2011). Ez a megközelítés a toxintartalom meghatározása szempontjából különösen előnyös, mivel a szennyezettség jellemzően a növényi részek jól lokalizált helyein nagymértékű, így ott jelentős spektrális változást okoz, míg a teljes tételen belül az összes szennyezettség – noha a megengedett határérték feletti – spektroszkópiailag detektálhatatlan lehet. Williams és mtsai (2010) *Fusarium verticillioides* gombával fertőzött és egészséges kukoricaszemek hiperspektrális felvételeit vizsgálták. Megállapították, hogy a gyors és objektív módszer gyakorlatban is alkalmazható a penészgombával fertőzött kukoricaszemek és tételek azonosítása során.

Műszeres aromaelemzés elektronikus orr (e-orr) technológiával

A tejelő tehenészetekben felhasznált tartósított tömegtakarmányok mindennapi minősítése során a leggyakrabban alkalmazott módszer az érzékszervi bírálat. A különböző tételek összehasonlítása, egyes minőséghibák megállapítása azonban nehezített lehet a telepi körülmények között tapasztalható egyéb szaghatások mellett. Továbbá az illatanyagok alapján történő minősítés esetében is fennáll az igény az automatizálhatóság iránt, mely az objektivitás mellett azonnal elérhető digitális eredményeket feltételez. Erre a feladatra kiválóan alkalmasak a Yakubu és mtsai (2021) által közölt összefoglalóban bemutatott elektronikus orr (e-orr) technológiák. Az aromaanyagok vizsgálatával foglalkozó első tanulmányok mintegy 100 éve készültek: Zwaardemaker és Hogewind (1920) tisztított vízpermet elektromos töltöttségét vizsgálva úgy találták, hogy illékony anyagok adagolása ezen mutató változását eredményezte. Később Parsaud és

Dodd (1982) valamint Ikegami és Kaneyasu (1985) nyomán felmerült az aromaklasszifikációt végző intelligens szenzorsor, az elektromos orr ötlete.

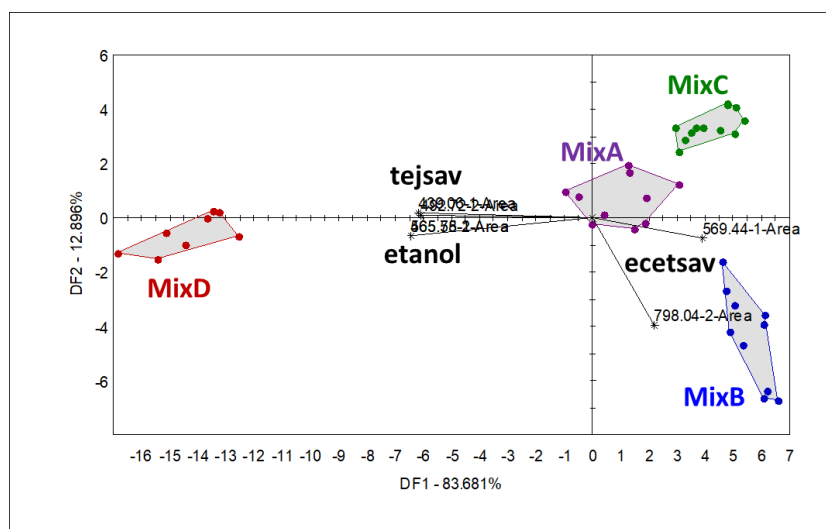
A napjainkban elérhető e-orr eszközök jellemzően gázérzékelő szenzorok, vagy az lélekony komponensek szétválasztására alkalmas oszlopok érzékenységére és szelektivitására épülnek. A műszeres aromaelemzés során a különféle hardveres megoldások valamelyikének segítségével elektromos jelekké alakítjuk a szagokat, majd a jeleket sokváltozós elemzésekkel, olykor komplex tanítási algoritmusokkal elemezzük, hogy végül azok alapján a vizsgált anyagokra vonatkozó következtetéseket vonjunk le. A vizsgálatok eszköztől függően automatizálhatóak és standardizálhatóak, ami természetesen befolyásolja a mérések megbízhatóságát, ugyanakkor a gyakorlati felhasználhatóságot is. Általános, hogy a vizsgált szilárd, folyékony, vagy gáznemű mintákat zárt mintatartókban inkubáljuk, majd a kialakult telített gőztérből vett gázmintát az analízáló egységbe juttatjuk, ahol az illatkomponensek elektromos jeleket generálnak, amelyek a továbbiakban a minta illatprofiljaként értékelhetők (7. ábra).



7. ábra: A műszeres aromaelemzés folyamatának sematikus ábrázolása

Noha már kereskedelmi forgalomban is elérhetőek hordozható e-orr eszközök (Wilson és Baietto, 2009; Jia és mtsai, 2019), azok stabilitása, az eltérő eszközökkel – vagy akár az azonos eszközzel eltérő időben – mért adatok összevethetősége kihívást jelent. Ezért a telepi körülmények között végezhető műszeres illatelemzés egyelőre még távlati cél, de Worku és mtsai (2021d) munkájában bemutatott adatok biztatóak, és a terület további alapos kutatását teszik indokolttá. A tanulmány célja az őszi gabonafélék (tritikálé, zab, árpa és búza) és olaszperje (*Lolium multiflorum* Lam.) keverékei, valamint az azokból készült szilázsok mikrobiológiai, kémiai és aromavizsgálata volt. A kísérletbe vont négy kereskedelmi gabona- és gabona-olaszperje keveréket betakarítást követően fonnyasztották és silózták laboratóriumi méretű silókban (n = 80), adalékanyagok nélkül: A keverék (40% tritikálé + 30% őszi zab + 20% őszi árpa + 10% őszi búza), B keverék (50% tritikálé + 40% őszi árpa + 10% őszi búza), C keverék (55% olaszperje + 45% őszi zab), D

keverék (40% olaszperje + 30% téli zab + 15% tritikálé + 10% őszi árpa + 5% őszi búza). A 90 napos erjedés végén az őszi gabonakeverék szilázsok (A és B keverék) hasonló aromájúak voltak, és ezekhez hasonló volt a C keverék is. Mind az aromaprofil leíró főkomponensanalízis (PCA) score diagramja, mind a lineáris diszkriminancia-analízis (LDA) eredménye azt mutatta, hogy a D keverék aromaprofilja különbözött leginkább a többi keverékszilázsétól. A különbséget a D keverék magas etanol- és tejsavtartalma okozta, melyet a 8. ábrán bemutatott eredmény is szemléltet, ahol az egyes keverékek mintáinak illat szerinti elkülönülése látható az elkülönülést leginkább okozó illékony összetevők feltüntetésével: egy illékony komponens súlyvektora az origóból abba az irányba mutat, amerre a komponenssel leginkább jellemezhető minták helyezkednek el. Az etil-észtereket, például az etil-3-metil-pentanoátot, a 2-metil-propanált, az etil-acetátot, az izoamil-acetátot és az etil-3-metil-tiopropanoátot a többitől eltérő mértékben mutatták ki a D keverékben. Az alacsony tejsavtartalom és a magasabb penész- és élesztőszám a C keverék szilázsában idegen szagot eredményezett, elsősorban a 3-metil-butánsav jelenléte miatt, amely egy egyszerű alkohol, kellemetlen kámforszerű szaggal.



8. ábra: Különböző keverékszilázsok aromaprofil alapján történő elkülönülése és a különbséget okozó néhány illékony komponens az erjedés 90. napján (MixA: 40% tritikálé + 30% zab + 20% árpa + 10% búza; MixB: 50% tritikálé + 40% árpa + 10% búza; MixC: 55% olaszperje + 45% zab; MixD: 40% olaszperje + 30% zab + 15% tritikálé + 10% árpa + 5% búza) (Worku és mtsai, 2021d)

Általánosságban az elektronikus orr eredményei azt mutatták, hogy az olaszperje és őszi gabonafélék keveréke (D keverék) jobb aromájú, mint a téli gabonafélék keverékei (A és B), a gabona keverékek (A és B) azonban jobb aromájúak voltak, mint a C keverék szilázs.

Jelenleg is zajló kísérleteinkben különböző minőségű szilázsok és szenázsok aromaprofilját vizsgáljuk eltérő e-orr technológiák segítségével. Eddigi eredményeink ígéretesek arra vonatkozóan, hogy az e-orrok alkalmasak legyenek az alapanyag minőségéből vagy a rossz fermentációból adódó minőségi hiba gyors jelzésére, bizonyos esetekben akár az illathibát okozó vegyület, így a minőségromlás okának meghatározására is.

E-orrall vizsgáljuk továbbá a különböző keverékszilázsok tejre gyakorolt hatását is, valamint elemezzük a különböző zsírsavforrás-kiegészítéssel (lenolaj, halolaj, algaolaj) takarmányozott tehenek által termelt tejek és tejtermékek (joghurt és sajt) kontroll takarmányhoz viszonyított aromamódosító hatását.

Összefoglalás

A tejelő tehenek takarmányozásában a tartósított tömegtakarmány-előállításakor a „töblában állás” továbbra is alapvető fontossággal bír. Az etetett teljes és részleges takarmánykeverékek (TMR, PMR) automatizált összeállítása, keverése és kiosztása, az egyedi takarmányfelvétel folyamatos értékelése illetve korrigálása, továbbá a takarmányok kémiai (pl. szárazanyag-, nyersrost- és fehérjetartalom) és egyéb paramétereinek – érzékszervi minőség, mikotoxin-tartalom stb. miniatürizált gyorsvizsgálati eszközökkel (pl. NIR, hiperspektrális kamera, e-orr) történő – meghatározása csak néhány kiragadott példa a jövőben követendő újszerű, telepi szinten is használható innovatív technológiai megoldásokra vonatkozóan.

Irodalomjegyzék

- Bázár, Gy. (2011): Közeli infravörös spektroszkópia alkalmazási lehetőségei sertéshús és húskészítmények, valamint sertésszár minőségében. Doktori (PhD) értekezés, Kaposvári Egyetem, Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola, pp. 187.
- Bec, K. B., Grabska, J., Siesler, H. W., Huck, C. W. (2020): Handheld near-infrared spectrometers: Where are we heading? *NIR News*, 31(3–4), 28–35.
<https://doi.org/10.1177/0960336020916815>
- Berardo, N., Pisacane, V., Battilani, P., Scandolara, A., Pietri, A., Marocco, A. (2005): Rapid detection of kernel rots and mycotoxins in maize by near-infrared reflectance spectroscopy. *J. Agri. Food Chem.*, 53, 8128–8134. <https://doi.org/10.1021/jf0512297>
- Hernandez-Hierro, J. M., Garcia-Villanova, R. J., Gonzalez-Martin, I. (2008): Potential of near infrared spectroscopy for the analysis of mycotoxins applied to naturally contaminated red paprika found in the Spanish market. *Anal. Chim. Acta*, 622, 189–194.
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.05.049>
- Kiskó G. (1998): Attempts to determine mouldiness of paprika powder by near infrared spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 6, A337–A342.
<https://doi.org/10.1255/jnirs.220>
- European Commission (2018): <https://agriculture.ec.europa.eu/select-language?destination=/node/1>
- Evangelista, C., Basirico, L., Bernabucci, U. (2021): An overview on the use of near infrared spectroscopy (NIRS) on farms for the management of dairy cows. *Agriculture*, 11, 296. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040296>
- Fischer, A., Edouard, N., Faverdin, P. (2020): Precision feed restriction improves feed and milk efficiencies and reduce methane emissions of less efficient lactating Holstein cows without impairing their performance. *J. Dairy Sci.* 103, 4408–4422.
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-17654>

- Gerber, P. J., Henderson, B., Makkar, H. P. (2013): Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production. A Review of Technical Options for Non-CO2 Emissions. FAO. ISBN: 9789251076583
- Hajdú, J. (2014): Automatizált takarmányozási rendszerek a szarvasmarhaistállóokban: http://technika.gmgi.hu/uploads/termek_535/automatizalt_takarmanyozasi_rendszerek_a_szarvasmarhaistallokban_14_05.pdf
- Hernandez-Hierro, J. M., Garcia-Villanova, R. J., Gonzalez-Martin, I. (2008): Potential of near infrared spectroscopy for the analysis of mycotoxins applied to naturally contaminated red paprika found in the Spanish market. *Analytica Chimica Acta*, 622, 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.05.049>
- Holló, G., Nagy-Kiszlinger H., Tossenberger, J., Török, M., Húth, B. (2021): Individual feed efficiency monitoring of Charolaise candidate young bulls in relation to feeding behavior and self-performance test Results. *Animals*, 12, 35. <https://doi.org/10.3390/ani12010035>
- Hristov, A., Ott, T., Tricarico, J., Rotz, A., Waghorn, G., Adesogan, A., Dijkstra, J., Montes, F., Oh, J., Kebreab, E., Oosting, S.J., Gerber, P.J., Henderson, B., Makkar, H.P.S., Firkins, J. R. (2013): Special topics – Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options: III. A review of animal management mitigation options. *J. Anim. Sci.* 91, 5095–5113. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6585>
- Húth, B., Tóth, T. (2021): Precíziós technológiák a tejelő szarvasmarhatenyésztésben. *Digitális Agrárakadémia*. Megjelenés alatt.
- Ikegami, A., Kaneyasu, M. (1985): Olfactory detection using integrated sensors. In *Proceedings of the 3rd international conference on solid-state sensors and actuators*, New York, NY, USA, 136-139.
- Jia, W., Liang, G., Jiang, Z., Wang, J. (2019): Advances in electronic nose development and application to agricultural products. *Food Anal. Methods*, 12, 2226–2240. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01552-1>
- Lehel, L., Orosz, S., Tóthné Polner, A., Sümeghy, L., Hajda, Z., Sipiczki, B., Várhegyi, J., Fébel, H. (2011): The rye grass silage apparent digestibility, rumen protein degradability, content of metabolizable protein and net energy. *AWETH*, 7, 149 -157.
- Maier, S., Ostertag, J., Haidn, B. (2013): Forage quality and hygiene in automatic feeding systems for dairy cows. *Landtechnik*. 68, 406–410.
- Mattachini, G., Pompe, J., Finzi, A., Tullo, E., Riva, E., Provolo, G. (2019): Effects of feeding frequency on the lying behavior of dairy cows in a loose housing with automatic feeding and milking system. *Animals*, 9, 121. <https://doi.org/10.3390/ani9040121>
- National Research Council (2001): Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, D.C.
- Oberschatzl-Kopp, R., Haidn, B., Peis, R., Reiter, K., Bernhardt, H. (2016): Effects of an automatic feeding system with dynamic feed delivery times on the behaviour of dairy cows. *Proc. of CIGR-AgEng 2016 Conference*, Aarhus, Denmark. 1-8.

- Orosz, Sz., Horváthné, K. B., Kruppa, J., Kruppa, J., Iván, F., Hoffmann, R. (2019): Hús-hasznú tehenek, növendék- és hízó marhák hazai tömegtakarmány-ellátása a klímaváltozás tükrében. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 66(4), 365–382.
- Orosz, Sz., Horváthné Kovács, B., Kruppa, J., Kruppa, J. ifj., Iván, F., Hoffmann, R. (2018a): Új növénytermesztési stratégia a tömegtakarmányok termesztésében - a klímaváltozás tükrében. *Értékálló Aranykorona*, 18(1), 19–21.
- Orosz, Sz., Kruppa, J., Kruppa, Junior J., Halász, A., Szemethy, D., Hoffmann, R., Bencze, G., Futó, Z. (2018b): Comparison of whole crop triticale-pea, triticale-grass and triticale-oat blends as forage sources at six different phenological stages. In: K, Gerlach; K, -H Südekum (szerk.) *Proceedings of the XVIII International Silage Conference*. Bonn, Németország: Görres-Druckerei und Verlag GmbH (2018). 568, 470–471.
- Persaud, K.C., Dodd, G. (1982): Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature*, 299, 352–355.
<https://doi.org/10.1038/299352a0>
- Pino, F., Mitchell, L. K., Jones, C. M., Heinrichs, A. J. (2019): Comparison of diet digestibility, rumen fermentation, rumen rate of passage, and feed efficiency in dairy heifers fed ad-libitum versus precision diets with low and high quality forages. *J. Appl. Anim. Res.*, 46, 1296–1306. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1498788>
- Santana, F. P., Rocha Júnior, V. R., Mendes Ruas, J. R., Moncao, F. P., Borges, L. A., Rigueira, J. P. S., Ramos, J. C. P., Gomes, V. M. (2019): Feed restriction of F1 Holstein × Zebu cows in the final third of lactation modifies intake, nutrient digestibility, feeding behavior, and performance. *R. Bras. Zootec.* 48. <https://doi.org/10.1590/rbz4820180130>
- Saranwong, S., Kawano, S. (2005): Rapid determination of fungicide contaminated on tomato surfaces using the DESIR-NIR: a system for ppm-order concentration. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 13, 169–175. <https://doi.org/10.1255/jnirs.470>
- Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Naylor, R. L., Deepak, R. K. (2018): [Internet]. Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks. *PNAS* published ahead of print. [cited 2018 June 11]. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718031115>
- Tóth, T., Fébel, H. (2021): Az állattermék-előállítás környezeti terhelésének csökkentése. *AgroNapló*, 25 (8), 61–62. <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2021/08/allattenyesztes/az-allatitermek-elallitas-kornyezeti-terhelesenek-csokkentese>
- Tullo, E., Finzi, A., Guarino, M. (2019): Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment*. 650, 2751–2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
- Turza S., Chen, J.Y., Terazawa, Y., Takusari, N., Amari, M., Kawano, S. (2002): On-line monitoring of rumen fluid in milking cows by fiber optics in transmittance mode using the longer NIR region. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 10, 111–120. <https://doi.org/10.1255/jnirs.328>
- Turza S., Kurihara, M., Kawano, S. (2006): Near infrared analysis of whole blood and plasma in blood-collecting tubes. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 14, 147–153.
<https://doi.org/10.1255/jnirs.609>
- USDA ERS (2019): <https://www.ers.usda.gov/data-products/milk-cost-of-production-estimates/>

- von Soosten, D., Meyer, U., Flachowsky, G., Danicke, S. (2020): Dairy cow health and greenhouse gas emission intensity. *Dairy*, 1, 20–29. <https://doi.org/10.3390/dairy1010003>
- Williams, P. C., Manley, M., Fox, G., Geladi, P. (2010): Indirect detection of *Fusarium verticillioides* in maize (*Zea mays* L.) kernels by NIR hyperspectral imaging. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 18, 49–58. <https://doi.org/10.1255/jnirs.858>
- Wilson, A. D., Baietto, M. (2009): Applications and advances in electronic-nose technologies. *Sensors*, 9, 5099–5148. <https://doi.org/10.3390/s90705099>
- Worku, A., Tóth, T., Orosz, Sz., Tóthi, R. (2019a): Potential forage resources as alternatives to partial or total substitution of corn silage in dairy cattle nutrition: A review. *Állattenyésztés és Takarmányozás*. 68(2), 109–127.
- Worku, A., Tóthi, R., Orosz, Sz., Fébel, H., Kacsala, L., Bazar, G., Tóth, T. (2019b): Nutrient content and fermentation characteristics of ensiled Italian ryegrass and winter cereal mixtures for dairy cows. *Krmiva*. 61(1). <https://doi.org/10.33128/k.61.1.6>
- Worku, A., Tóthi, R., Orosz, Sz., Fébel, H., Tossenberger, J., Húth, B., Tóth, T. (2020): Nutritive value of ensiled Italian ryegrass and winter cereal mixture. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*. 23. <https://doi.org/10.15414/afz.2020.23.mi-fpap.7-14>
- Worku, A. (2021a): Combination of Italian ryegrass and winter cereals provides new alternative forages in dairy nutrition. Doctoral (PhD) Dissertation. Kaposvár.
- Worku, A., Tóthi, R., Orosz, Sz., Fébel, Kacsala, L., Drew V., Tóth, T. (2021b): Novel mixtures of Italian ryegrass and winter cereals: influence of ensiling on nutritional composition, fermentation characteristics, microbial counts and ruminal degradability. *Ital. J. Anim. Sci.* 20(1). <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1924883>
- Worku, A., Tóthi, R., Orosz, Sz., Fébel, H., Kacsala, L., Húth, B., Hoffmann, R., Tóth, T. (2021c): In situ ruminal degradability and fermentation characteristics of novel mixtures of winter cereals and Italian ryegrass plus winter cereal grain silages. *Czech J. Anim. Sci.*, 66, 302–314. <https://doi.org/10.17221/12/2021-CJAS>
- Worku, A., Tóth, T., Orosz, Sz., Fébel, H., Kacsala, L., Húth, B., Hoffmann, R., Yakubu, H.G., Bazar, G., Tóthi, R. (2021d): Aroma profile, microbial and chemical quality of ensiled green forages mixtures of winter cereals and Italian ryegrass. *Agriculture*, 11, 512. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060512>
- Yakubu, H.G., Kovacs, Z., Toth, T., Bazar, G. (2021): Trends in artificial aroma sensing by means of electronic nose technologies to advance dairy production – a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1945533>
- Yakubu, H.G., Kovacs, Z., Toth, T., Bazar, G. (2022): The recent advances of near-infrared spectroscopy in dairy production – a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 62(3), 810–831. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1829540>
- Zwaardemaker, H., Hogewind, F. (1920): On spray-electricity and waterfall-electricity. In *KNAW Proceedings, Amsterdam, Netherlands*, 22.