

A modern holstein-fríz tehén tenyésztésének és tartásának néhány fenntarthatósági szempontja (Irodalmi áttekintés)

Some sustainability aspects for the breeding and management of modern Holstein cow (Literature review)

BOGNÁR László – KÖRÖSI Zsolt Jenő – BENE Szabolcs – SZABÓ Ferenc

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat a „modern” holstein-fríz tehének tenyésztését és tartását tárgyalja a fenntarthatóság és rugalmasság szemszögéből vizsgálva. A tejtermelés növelése globális követelmény, de egyre inkább elvárás az ágazat fejlesztése és a környezetre gyakorolt hatása közötti egyensúly megteremtése is. A genomikai módszerek és a célzott tenyésztési stratégiák integrálása a tejtermelésben jelentősen javíthatják az ágazat hatékonyságát és fenntarthatóságát. A genomikai szelekció, amely DNS-markereket és nukleotid polimorfizmus (SNP) információkat használ az egyed genetikai értékének előre jelzésére, lehetővé teszi a tenyésztők számára bizonyos fenntarthatósággal kapcsolatos tulajdonságokra, mint például a betegség ellenálló-képességre, a hosszú hasznos élettartamra, a termékenységre, a takarmányértékesítő képességre irányuló szelekciót. Mindez nemcsak a termelés növekedését eredményezi, hanem egyben csökkenti a környezeti terhelést is. A célzott tenyésztési stratégiák alkalmazása egyik fontos eszköze lehet az ágazat hosszú távú fenntarthatóságának. A genomikai szelekcióra alapozott „modern holstein tehén” tenyésztési stratégia javíthatja az állatok ellenálló képességét, az állatjólét helyzetét, csökkentheti a környezeti terhelést, mindamellett biztosíthatja a tejtermelő üzemek hosszú távú gazdaságos működését úgy, hogy a tejipar igényei is megvalósuljanak. Fontos továbbá, hogy az alkalmazott tartástechnológiában a korszerű takarmányozási módszerek, az állatjóléti, állatvédelmi, a trágya- és hulladékkezelési, az energia- és víztakarékos megoldások kerüljenek alkalmazásra. A tehenészetek üzemeltetéséhez továbbá a naprakész tenyésztési és technológiai információk is elengedhetetlenek.

Kulcsszavak: genomszelekció, technológia, környezethatás

SUMMARY

As global demand for dairy products continues to grow, it is increasingly important to balance the development of the dairy industry with environmental protection. Integrating genomics and targeted breeding strategies in dairy production can significantly improve sustainability and efficiency. Genomic selection uses deoxyribonucleic acid (DNA) markers and single nucleotide polymorphism (SNP) information to predict the genetic value of an animal, allowing breeders to select beneficial traits such as disease resistance, longevity, fertility, and feed efficiency. This not only increases productivity but also reduces environmental burden. Tailored breeding strategies can improve herd health and productivity and ultimately reduce the environmental footprint per unit of milk. Managing “modern” Holstein cows with a focus on sustainability and resilience means implementing practices that promote animal welfare, minimise environmental impacts, and ensure the long-term viability of the dairy farm. In the context of modern Holstein cows, the term modern refers to Holstein cows that have been selectively bred and managed using contemporary agricultural practices and scientific advancements. These practices include the application of genomics, precision breeding programs, advanced dairy cattle health care techniques, and updated herd management practices. Modern Holstein cows have been adapted and bred to meet the demands of today’s dairy industry, considering factors like economic milk production, disease resistance, and environmental sustainability. The outcome of integrating genomics-targeted breeding and feeding strategies in Holstein cow management aims to enhance sustainability, productivity, and animal welfare, which would result in a more efficient and environmentally responsible dairy industry.

Keywords: genomic selection, management, environmental effect

1. Bevezetés

A holstein-fríz tejhasznosítású szarvasmarha meghatározó és domináns fajta a világon és hazánkban, a populáció méretét, a termelés színvonalát és a globális tejpiacon betöltött szerepét tekintve egyaránt. A holstein-fríz használatát a kiemelkedő színvonalú tejtermelésének előnyei mellett számos szakértő és nem elsősorban szakértő kritizálja a szektor üvegházhatású gázkibocsátásával és a globális felmelegedéshez való jelentős hozzájárulásával kapcsolatban (Naranjo és mtsai, 2020.) Számos tudományos munka mutat rá arra, hogy a klímaváltozás és a globális felmelegedés tekintetében a fenntarthatóság nézőpontjából jelentős változások várhatók (Peterson és Mitloehner, 2021). Néhány tanulmány arról számol be, hogy az állati termék előállítás, amely magában foglalja a szállítást, a feldolgozást és a fogyasztást is, relatíve nagy befolyást gyakorol a klímaváltozás alakulására (Milani és mtsai, 2011). Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) szerint az EU-27 tagországok üvegházhatású gázkibocsátásának mértéke 2021-ben 378,430 kt CO₂ egyenérték volt, ez 11%-a a teljes kibocsátásnak. Az állattenyésztés részesedése ebből 245,448 kt CO₂ egyenérték (64,85%) amelyből a szarvasmarhák emésztéséből eredő fermentációja 155,937 kt CO₂ egyenérték (63,53 %) és a trágyakezelésből eredő 28,613 kt egyenérték (11,65%). Magyarországon a mezőgazdaság 12,55%-kal járul hozzá a teljes ÜHG kibocsátáshoz, ami 7,202 kt CO₂ egyenérték. Ezen belül az állattenyésztés részesedése 3,506 kt CO₂ egyenérték (42,43%) amiből a szarvasmarhák fermentációjából fakadó kibocsátás 1,966 kt CO₂ egyenérték (56,07%), a trágyakezelésből és egyéb eredetű 591 kt CO₂ egyenérték (16,85%). Átfogó kutatási és gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a fajta tejtermelésének előmozdítása a fenntarthatóság szempontjából döntő szerepet játszhat a klímaváltozás mérséklésében. Ezért nélkülözhetetlen fókuszálni a holstein tehének tartására, biztosítani a magas színvonalú termelést, a jövőbeni fenntarthatóság érdekében. Bár számos kiadvány foglalkozik az intenzív tejtermelés fenntarthatóságával, a többség elsősorban az éghajlatváltozásra gyakorolt hatására összpontosít. Kétségtelenül fontos ez a hatás, azonban a fenntarthatóság számos egyéb tényezőt is felölel, közülük néhányuk akár korlátozó is lehet. Emiatt a feladat céltudatos megközelítésre van szükség, amely egyszerre több tényezőt vesz figyelembe. A fenntarthatóság érdekében a genetikai, a genomikai szelekció, a szakszerű takarmányozás, a takarmánykezelés, az állategészségügy, az állatjólét, a trágyakezelés, a hulladékkezelés, az energiahatékonyság, a víztakarékosság és a tudásmegosztás szintén kiemelt fontosságú.

2. Genetikai szelekció

Hosszú ideig a holstein fajta genetikai szelekciójának célja a tejhozam, a tejszír- és fehérjetartalom növelése volt. Azonban bizonyos tulajdonságok közötti kedvezőtlen genetikai kapcsolatok miatt, mint pl. a tejmenyiség és a termékenység, vagy az állatjólét, nem fordítódott kellő figyelem néhány fontos tulajdonságra. Emiatt felmerült a hatékonyabb tenyésztési stratégiák kidolgozása a tejhasznosítású szarvasmarha-ágazat hosszú távú fenntarthatóságának növelése érdekében (Cole és VanRaden, 2018). Később a termelési célkitűzéseket kiegészítették a küllemi és funkcionális tulajdonságokkal, mint a hosszú hasznos élettartam, vagy

a könnyű ellés (*Brito és mtsai, 2021*). Az intenzív tenyésztés mellett jelentős egyéb fejlesztésekre, technológiai áttörésekre is sor került, melyben a hagyományos genetikai szelekció jelentős szerepet játszott az elmúlt évtizedekben (*Miglior és mtsai, 2017*).

Annak ellenére, hogy a tejágazat nagy hangsúlyt fektet az élelmiszerbiztonság megteremtésére és fejlesztésére, a jobb termelékenység aggodalmakat támaszt más fenntarthatósági dimenziókkal kapcsolatban (*Clay és mtsai, 2020*). Ez a helyzet új tenyésztési stratégiát igényel, amely a termelékenység mellett olyan funkcionális tulajdonságokat és szempontokat is figyelembe vesz, mint az alkalmazkodóképesség, az állatjólét és az ellenálló-képesség. Bár jelentős előre lépések történtek a termelékenység terén, a tejágazat hosszú távú sikere a fenntartható tenyésztési célok és irányítási gyakorlatok elfogadásától függ, különösen agro-ökológiai szempontból (*Bito és mtsai, 2021*). A tejtermelő ágazat hosszú távú fenntarthatósága azon múlik, hogy kiegyensúlyozott tenyésztési célokat fejlesszenek ki, amelyek egyszerre javítják az állat egészségét és jóllétét, a termelékenységet, a környezeti hatást, az élelmiszer minőségét és biztonságát, miközben minimalizálják a genetikai változatosság veszteségét (*Cole és VanRaden, 2018*). A genetikai szelekció ma modern megoldásokon, DNS-analízisen és genomikai tenyészértébecslésen alapul, amely lehetővé teszi számunkra, hogy a termelés, a tej összetétel (zsír, fehérje) és a funkcionális küllemi tulajdonságok mellett egyéb gyengén öröklődő tulajdonságok, mint az egészség- és jólléti tulajdonságok, hőtűrő-képesség, alkalmazkodó-képesség, és az üvegház hatású gázkibocsátással kapcsolatos tulajdonságok is figyelembe vételre kerüljenek a tenyész kiválasztás során. A fiatal állatokat már korán, röviddel születés után lehet genotipizálni, pl. szőrminták vételével és analizálásával, vagy akár még a születés előtt in vitro körülmények között embriómosással és embrio-sejtmag biopszia eljárás alkalmazásával.

A minták DNS elemzésével, és az SNP információk felhasználásával lehet becsülni a genomikai tenyészértéket az említett tulajdonságokra. Az SNP információ megbízható eszközként szolgál a fiatal állatok jövőbeni teljesítményének előrejelzéséhez, ami segíti a tenyésztői döntések meghozatalát. A mínusz variáns nőivarú egyedeket hústípusú bikákkal lehet termékenyíteni a „Beef on Dairy” program keretében, míg a jobb genetikai képességgel rendelkezőket, beállítják a selejtezett tehenek helyére. Ezek az egyedek képesek a hatékonyabb tejtermelésre, csökkentve ezzel a tejtermelés környezeti lábnyomát.

A szelekciós index (Holstein Global Index) a termelési tulajdonságokon (zsír és fehérje) kívül egészségi és menedzsment tulajdonságokat is tartalmaz, mint például a szomatikus sejt szám, hosszú hasznos élettartam, láb-, lábvég tulajdonságok, és elléslefolyás. Az index alkalmazása során minden tulajdonságra külön tenyészértéket becsülnék, amely a kiválasztás alapjául szolgál. Ez a szelekciós módszer hozzájárulhat a fenntarthatóság és az alkalmazkodó képesség követelményeinek teljesítéséhez. A holstein teheneket korábban a nagy tejhozam elérése érdekében tenyésztették. Azonban, ha a szelekció csak a tejhozamra összpontosít, kedvezőtlen helyzet következhet be a reprodukciós élettartam tulajdonságokban, ami az ágazat fenntarthatósága és az alkalmazkodó képessége szempontjából kedvezőtlen. Fontos egyensúlyt tartani a termelési tulajdonságok és olyan tényezők között, mint az egészség, termékenység és hosszú hasznos élettartam.

A tenyésztési programoknak olyan teheneket kell eredményezniük, amelyek kellő alkalmazkodóképességgel rendelkeznek a különböző környezeti adottságokhoz, jó immunrendszerrel rendelkeznek, és természetes viselkedést mutatnak. A genetikai szelekció jelentős mértékben hozzájárulhat a tejelő tehen termékenységének, hosszú élettartamának és hatékonyságának növekedéséhez, tovább csökkentve a tejtermelés egységére jutó környezeti lábnyomot (Pryce és Haile-Mariam, 2020). A Holstein-fríz Tenyésztők Egyesülete sikeresen működteti a genetikai alapú szelekciós rendszert az abban résztvevő tenyésztői számára, a HUNGENOM projekt keretében. 73 aktív tenyésztet és 52975 DNS-mintát (szőr) vizsgált meg a program 2019-es kezdete óta, és 51165 tenyészértéket publikált amelyek a tenyésztési/szelekciós vagy keresztezési döntések meghozatalának alapjaként szolgáltak.

3. Takarmányozás

A tejelő tehenek takarmányozása gazdasági és környezeti szempontból is jelentős. A takarmányozási stratégiák és módszerek fontos eszközök a tejtermelés hatékonyságának javításában, valamint az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésében, a fenntarthatóság és az állatjólét érdekében. Sok ígéretes lehetőség áll rendelkezésre a kibocsátások további csökkentésére, a fenntarthatóság elősegítésére takarmány és melléktermék anyagok szakszerű felhasználása révén (Martin és mtsai, 2017). A tejelő tehenek takarmányozásában jelentős javulást eredményezett a komplett takarmányadag (TMR) használata, amelyeket az egyes állatok korához és laktációs stádiumához igazítanak táplálóanyag- és energiaigényük alapján (National Research Council, 2001). Az energiadúsabb, vagy könnyebben emészthető takarmányok további energiát biztosítanak az állatnak, és kevesebb erjedésből származó metánt (CH_4) termelnek (Knapp és mtsai, 2014). A takarmányok keményítőtartalmának növelése, például a koncentrációsínt növelésével, jobb takarmányhasznosítást eredményez és csökkenti a CH_4 -termelést (Johnson és Johnson, 1995). A nagyobb keményítő tartalmú étrend alkalmazása hatással van a gabonatermesztésre, ami további fosszilis tüzelőanyag- és műtrágya-felhasználást eredményez, növelve a N_2O és CO_2 kibocsátást (Johnson és mtsai, 2002), ami azonban ellensúlyozza a CH_4 kibocsátás jelentős csökkenését (Lovett és mtsai, 2006). A gabonaféléket tartalmazó takarmányok etetése a magasabb keményítőtartalmuk miatt előnyös lehet a propionsav termelésben és a CH_4 kibocsátás csökkentésében (Beauchemin és mtsai, 2009). A lucerna és más pillangós virágú takarmányok nagyobb mennyisége a takarmányadagban, a fű alapú takarmányokhoz viszonyítva, összességében csökkenti a CH_4 kibocsátást (McCaughey és mtsai, 1999).

A takarmány betakarításának ideje is jelentős hatással van az üvegházhatású gázok kibocsátásra. A késői betakarítás eredményeként a takarmány több lignint tartalmaz, ami rontja az emészthetőségét, és nagyobb emissziót eredményez (Pinares-Patiño és mtsai, 2003). A takarmány, az abrak összetételének és arányának szakszerű beállítása mellett a tejelő tehenek étrendjében történő lipid kiegészítés is enyhítheti a kibocsátásokat (Hristov és mtsai, 2013a). Az abraktakarmány lipidekkel történő kiegészítése csökkenti a mikrobák által a bendőben fermentált mennyiséget, és csökkentheti az összes protozoon és metanogén populációt

(Ivan és mtsai, 2004). A nagy olajtartalmú melléktermékek, például szeszipari melléktermékek és olajos magvak etetése csökkentheti a CH_4 -kibocsátást (Hristov és mtsai, 2013b). Az silózott takarmányok kibocsátásra gyakorolt hatásáról kevesebb a kutatási eredmény, bár feltételezhető, hogy a kukoricaszilázs csökkenti a kibocsátást a viszonylag nagy keményítőtartalma miatt (Gerber és mtsai, 2013). A fűszilázs és a kukoricaszilázs közvetlen, együtt etetése során a nagyobb arányú kukoricaszilázs várhatóan csökkenti a CH_4 kibocsátást (Doreau és mtsai, 2012). Az említettek mellett még számos egyéb takarmányozási stratégia, takarmánykomponens, TMR összetétel áll rendelkezésre az üvegház hatású gáz kibocsátás csökkentésére (Hristov és mtsai, 2015). A szakszerű takarmányozás nemcsak az üvegházhatású gáz kibocsátás szempontjából, hanem természetesen a holstein tehenek egészségi állapota, termelése szempontjából is fontos.

4. Állategészségügy, állatjóllét

A fogyasztókat érdekli a tejtermékek biztonsága és minősége (Drake, 2007). Ugyanakkor az utóbbi időben növekedett az érdeklődés a tejet termelő tehenek gondozása és tartása iránt is (Keyserlingk és mtsai, 2013). A nagy mennyiségű és jó minőségű tejtermék előállításának alapvető feltétele, hogy a tehenek egészségi és állatjólléti állapota megfelelő legyen. A tehenészet méretének, a tejtermelés színvonalának, a tehenek egészségi és állatjólléti állapotának a kapcsolata összetett és számos tényezőtől függ (Chapinal és mtsai, 2014a), beleértve a vezetési gyakorlatot, az üzem növekedési ütemét, az épületeket, a személyzet képzettségét és tapasztalatát, valamint a gondozók figyelmét az állatokkal kapcsolatban. Barkema és mtsai (2015) bizonyítékot szolgáltatott arra, hogy az Egyesült Államokban és Kínában is a nagyobb gazdaságokban a lábproblémák kisebb arányúak, mint máshol, amit Chapinal és mtsai (2014b) is megerősítettek. Azonban Anastácio és mtsai (2014) szerint a fertőző betegségek állomány-szintű és a tenyészetben belüli előfordulási gyakorisága az ilyen tehenészetekben nagyobb mértékű. Hasonlóan vélekednek Wolf és mtsai (2014) is. Ennek oka azonban sokkal inkább a tehenek több helyről történő vásárlásában és azok keveredésében keresendő, mint a tenyészet méretében. Számos európai országban a betegséggellenőrzési programok működnek, melynek keretében szűrővizsgálatokat végeznek (Houe és mtsai, 2006), ugyanis a holstein tehenek jóllétének biztosítása elengedhetetlen. Az említettek mellett a részletes állategészségügyi kezelési protokollok kényelmes tartási környezetet biztosítanak, amelyek lehetővé teszik a természetes viselkedést a tehen kényelme érdekében, mint például a megfelelően szellőző istállók, elegendő tér, megfelelő alom és tiszta víz stb.

5. Trágya- és hulladékkezelés

A holstein tehen nagy mennyiségű trágyát termel, aminek környezeti hatása lehet, ha nem megfelelően kezelik. Ez a hulladék jelentős nitrogén és foszfor forrás, amely, ha a növényi igényeknél többet használnak fel a trágyázásra, a felszíni vizek szennyeződését okozhatja (Knowlton és Cobb, 2006). A felesleges N a lemosódás révén akár a talajvízbe is kerülhet, ami problémát jelent az emberi és állati egészség szempontjából, mivel az ivóvízből származó nitrát a béltrak-

tusban nitritté alakul és mérgező lehet. A tejelő tehenek trágyájából származó egyik vegyület, amely befolyásolja a levegő minőségét, az ammónia (NH_3). Ez akkor keletkezik, amikor az állat vizeletéből származó karbamidot a trágyában jelen lévő ureáz enzim lebontja (Place és Mitloehner, 2010). A tejelő tehenek trágyájából származó jelentős üvegházhatású gáz a metán (CH_4), amely szintén a tejelő állatok trágyájából származik. Ennek mennyisége a bélsárban lévő szén, hidrogén és oxigén mennyiségétől, a trágyatárolási rendszertől, a takarmányozástól és az alomtól is függ (Place és Mitloehner, 2010). Hatékony trágyakezelés alkalmazása segíthet a trágya tápanyagainak megkötésében és felhasználásában, minimalizálva a vízszennyezést és csökkentve az üvegházhatású gázok kibocsátását. Kimutatták azt is, hogy a termelés növekedése az üvegház hatású gáz kibocsátás növekedésének meghatározó tényezője (Kim és Kim, 2012), míg az új energiaforrások használata, különösen a megújuló energiaforrások alkalmazása csökkenti a kibocsátást (Marques és mtsai, 2019).

6. Energiahatékonyság, megújuló energia

A jó minőségű tej termelése, az alacsony csiraszám biztosítása, a hűtés és egyéb feladatok miatt jelentős energia igényel jár. A hűtőrendszerek jelentős energiafelhasználók. Az energiafelhasználási adatok egyéb technológiai megoldásoktól függően is nagy változatosságot mutatnak, pl. hagyományos fejőrendszerek (CM) esetében 6,4-33,4 Wh/kg tej, automatikus fejőrendszerek (AMS) esetében, 6,4-től 38,7 Wh/kg tej értékűek (Upton és mtsai, 2013). A tejtermelési technológiák meleg vizet is igényelnek például az elletési eszközök, anyagok, berendezések, és épületek tisztításához. A vízmelegítő rendszerek főleg elektromos, vagy földgázzal fűtött kazánok. Az elektronikus kazánok esetében az adatok 3,3-22,8 Wh/kg tej értékűek a finn tejtermelő gazdaságokban (Rajaniemi és mtsai, 2017). A világítás is energiafogyasztó, amire szükség van a termelékenység és a biztonság szempontjából a tejelő tehenészetben. A mért értékek a világításra vonatkozóan 1,4 Wh/kg tej (Shine és mtsai, 2018) és 32,1 Wh/kg tej a hagyományos izzók esetében (Houston és mtsai, 2014). A fent említett mellett más villamosenergia-felhasználás is gyakori a tehenészetekben. Az adatok az egyéb energia felhasználás esetében 4,1-től 38,8 Wh/kg tej értékek között változnak. Bár sok információ van az irodalomban a napkollektorok pozitív hatásairól és a fosszilis energia használatának csökkentéséről, de kevés ismeret áll rendelkezésre arról, hogy a napkollektorokat használó tejgazdaságok mennyivel energiatakarékosabbak (Houston és mtsai, 2014). A fosszilis fűtőanyagok által termelt energia felhasználás mérséklése fontos az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése érdekében, amelynek kiváltására a napenergia jöhet számításba a tejágazat klímaállóbbá tételében. Ugyanakkor nagyobb figyelmet célszerű fordítani a napenergia alkalmazásának egyéb következményeire is, amelyek egyéb energiafelhasználás növekedésében jelentkezhetnek (Qiu és mtsai, 2019). Ugyanakkor nagyon fontos csökkenteni a tejtermelés környezeti lábnyomát az energiahatékony megoldások alkalmazásával.

7. Víztakarékoság

A vizet különböző célokból használjuk a tejtermelő tehenészetekben. Az állattenyésztés összes vízfelhasználásának 19%-át a tejágazat teszi ki. Ennél többet (33%) csak a marhahús szektor fogyaszt. A becslések szerint a tejtermelés teljes vízlábnyoma 1 m³/kg tej (*Mekonnen és Hoekstra, 2012*). Ez jelentős mennyiségű víz, amely részben megőrizhető a gazdaságban a termelés során (*House és mtsai, 2014*). *Robinson és mtsai (2016)* átfogó tanulmányuk alapján arra a következtetésre jutottak, hogy az automatizált fejési rendszerek napi vízfelhasználása nagyobb, mint az a kötött tartási rendszerű istállóval rendelkező üzemek esetében. Ez azt jelenti, hogy a fejési mód kulcsfontosságú tényező a vízfelhasználásban. Mivel a robotrendszerek, amelyek egyre gyakoribbá válnak a fejés-technológiában, nagy mennyiségű vizet használnak, a tejágazatnak hatékony vízhasználati stratégiákat kell kidolgoznia ezen rendszerek számára. A lefolyók és szennyvizek megfelelő kezelése segíthet megelőzni a vízszennyezést és megvédeni a helyi vízforrásokat.

8. Tudásmegosztás

Ahhoz, hogy információkban is naprakész legyen a fenntartható tejtermelési gyakorlat, az új technológiák alkalmazása kulcsfontosságú az ágazatban. Ehhez a szakértőkkel, a kutatókkal és a tenyésztőtársakkal való együttműködés elengedhetetlen. A fenntartható mezőgazdaság iránt elkötelezett gazdákhoz vagy szervezetekhez való csatlakozás lehetőséget ad a tapasztalatok megosztására, a kollégáktól történő tanulásra és a fenntarthatósági célok közös elérésére. A tenyésztő szervezetek és az egyéb tejtermelési szervezetek által rendezett agrárkiállítások, találkozók és más események kiváló helyszíneket jelenthetnek a fontos és értékes információk cseréjére.

9. Összegzés

A fentiek elemzéséből leszűrhető, hogy a tejtermelés fenntarthatóságának, az ágazat alkalmazkodó képességének a kulcselemei és a velük kapcsolatos feladatok az alábbiak lehetnek:

- **Genetikai szelekció:** Kiegyensúlyozott termelési tulajdonságok javítására irányul, mint az egészség, termékenység és hosszú élettartam. Olyan teheneket kell kitenyésztetni, amelyek jó alkalmazkodóképességgel rendelkeznek különböző környezeti tényezőkhöz, jó az immunrendszerük, és természetes viselkedést mutatnak.
- **Takarmányozás:** Fenntartható takarmányozási gyakorlat bevezetése, például helyi forrásból származó takarmányok felhasználása, az importált takarmányokra való támaszkodás csökkentése, és a takarmány-összetétel optimalizálása a termelés fenntartása és a környezeti hatás minimalizálása érdekében.
- **Állategészség és állatjóllét:** Teljes körű állategészségügyi protokollok bevezetése, oltási programok, rendszeres állatorvosi ellátás és megelőző intézkedések a gyakori betegségek ellen.
- **Trágya- és hulladékkezelés:** Hatékony trágyakezelési stratégiák, anaerob erjesztő-rendszerek, komposztálás és tápanyag-kezelési tervek bevezetése.

Energiatakarékosság és megújuló energia: A tejtermelés környezeti lábnyomának csökkentése érdekében energiatakarékos gyakorlatok bevezetése. Az energiahatékony megoldások alkalmazása istállókban, fejőházakban és egyéb létesítményekben hatékony világítás, szellőzés révén.

- *Víztakarékosság:* Víztakarékos megoldások bevezetése, hatékony öntözési rendszerek, szivárgás észlelése és javítása, felelős vízfelhasználás.
- *Tudásmegosztás:* A tejágazatban a céltudatos tudásmegosztás létfontosságú a termelés optimalizálása, a fenntarthatóság javítása és a szektor változó kihívásainak és lehetőségeinek kezelése érdekében.

10. Következtetések

A felelős holstein-fríz tenyésztés újszerű megközelítést igényel, ami több tényező együttes kezelését jelenti a fenntarthatóság szempontjából. A különböző tényezők egyensúlyban tartása jelentősen növelheti a holstein-fríz fajtára alapozott tejtermelés fenntarthatóságát és rugalmasságát. A genomikai információ és a genomikai szelekciós rendszerek alkalmazása lehetővé teszi, hogy a tehenek kevesebb takarmányból több tejet termeljenek, minimalizálva ezzel a környezeti hatást. Ezek a stratégiák, kiegészítve azzal, hogy az állattjólléti, állategészségügyi, élettartam szempontok is szerepelnek a tenyésztési programban, mindenképpen segítik az ágazat fenntarthatóságát. Bár az említettek érvényesítésének előnyei nem feltétlenül rövid távon jelentkeznek, integrálásuk egy átfogó stratégiai tervbe hosszabb távon nagyban javíthatja a tejtermelő gazdaság tartósságát és sikerét. Fontos, hogy feltárjuk a különböző menedzsment elemeket, amelyek hozzájárulnak a holstein tehén tejtermelésének fenntarthatóságához és az ágazat jobb alkalmazkodó képességéhez. Ezeknek az elemeknek az együttes kezelésével a holstein-fríz fajtára alapozott tejtermelés környezeti lábnyoma is tovább csökkenthető.

11. Köszönetnyilvánítás

A 2023-2.1.2-KDP-2023-00017 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2023. pályázati program finanszírozásában valósult meg.

12. Felhasznált irodalom

- Anastácio, S. – Carolino, N. – Sidi-Boumedine, K. – Da Silva, G. J. (2014): Q fever dairy herd status determination based on serological and molecular analysis of bulk tank milk. *Transbound. Emerg. Dis.*, 63. 293–300. <https://doi.org/10.1111/tbed.12275>
- Barkema, H. W. – Keyserlingk, M. A. G. – Kastelic, J. P. – Lam, T. J. G. M. – Luby, C. – Roy, J. P. (2015): Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *J. Dairy Sci.*, 98. 7426–7445. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9377>
- Beauchemin, K. A. – McAllister, T. A. – McGinn, S. M. (2009): Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews*, 4. 1–18.
- Brito, L. F. – Bedere, N. – Douhard, F. – Oliveira, H. R. – Arnal, M. – Peñagaricano, F. – Schinckel, A. P. – Baes, C. F. – Miglior, F. (2021): Review: Genetic selection of high-yielding dairy cattle toward sustainable farming systems in a rapidly changing world. *Animal*, 15. 100292. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100292>

- Chapinal, N. – Liang, Y. – Weary, D. M. – Wang, Y. – Keyserlingk, M. A. G. (2014a): Risk factors for lameness and hock injuries in Holstein herds in China. *J. Dairy Sci.*, 97. 4309–4316. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8089>
- Chapinal, N. – Weary, D. M. – Collins, L. – Keyserlingk, M. A. G. (2014b): Lameness and hock injuries improve on farms participating in an assessment program. *Vet. J.*, 202. 646–648. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.09.018>
- Clay, N. – Garnett, T. – Lorimer, J. (2020): Dairy intensification: Drivers, impacts and alternatives. *Ambio*, 49. 35–48. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01177-y>
- Cole, J. B. – VanRaden, P. M. (2018): Symposium review: Possibilities in an age of genomics: The future of selection indices. *J. Dairy Sci.*, 101. 3686–3701. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13335>
- Doreau, M. – Rochette, Y. – Martin, C. (2012): Effect of type of forage (maize silage vs grass silage) and protein source (soybean meal vs dehydrated lucerne) in dairy cow diet on methane emission and on nitrogen losses. In: *Hassouna, M. – Guingand, N. (Eds), Proc. International Symposium on Emission of Gas and Dust from Livestock, 10-13 June 2012, Saint-Malo, France, 4.*
- Drake, M. A. (2007): Invited review: Sensory analysis of dairy foods. *J. Dairy Sci.*, 90. 4925–4937. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0332>
- Gerber, P. J. – Henderson, B. – Makkar, H. P. (Eds) (2013): Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production: A review of technical options for non-CO2 emissions, *FAO Animal Production and Health Papers. 177.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Houe, H. – Lindberg, A. – Moennig, V. É. (2006): Test strategies in bovine viral diarrhoea virus control and eradication campaigns in Europe. *J. Vet. Diagn. Invest.*, 18. 427–436. <https://doi.org/10.1177/104063870601800501>
- House, H. K. – Hawkins, B. C. – Barkes, B. C. (2014): Measuring and characterizing on-farm milking centre washwater volumes. *ASABE Paper, No 1908138, ASABE, 13-16 July 2014, Montreal, Quebec, Canada.*
- Houston, C. – Gyamfi, S. – Whale, J. É. (2014): Evaluation of energy efficiency and renewable energy generation opportunities for small scale dairy farms: A case study in Prince Edward residential solar panel adoption. *J. Environ. Econ. Manag.*, 96. 310–341. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.11.040>
- Hristov, A. N. – Lee, C. – Cassidy, T. – Heyler, K. – Tekippe, J. A. – Varga, G. A. – Corl, B. – Brandt, R. C. (2013a): Effect of *Origanum vulgare* L. leaves on rumen fermentation, production, and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 96. 1189–1202. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5975>
- Hristov, A. N. – Oh, J. – Firkins, J. L. – Dijkstra, J. – Kebreab, E. – Waghorn, G. – Makkar, H. P. S. – Adesogan, A. T. – Yang, W. – Lee, C. – Gerber, P. J. – Henderson, B. – Tricarico, J. M. (2013b): Special topics – Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J. of Anim. Sci.*, 91. 5045–5069. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>
- Hristov, A. N. – Oh, J. – Giallongo, F. – Frederick, T. W. – Harper, M. T. – Weeks, H. L. – Branco, A. F. – Moate P. J. – Deighton, M. H. – Williams, S. R. O. – Kindermann, M. – Duval, S. (2015): An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112. 10663–10668.
- Ivan, M. – Mir, P. – Mir, Z. – Entz, T. – He, M. L. – McAllister, T. A. (2004): Effects of dietary sunflower seeds on rumen protozoa and growth of lambs. *Br. J. Nutr.*, 92. 303–310. <https://doi.org/10.1079/BJN20041178>
- Johnson, K. A. – Johnson, D. E. (1995): Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, 73. 2483–2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>

- Johnson, D. – Phetteplace, H. – Seidl, A. (2002): Methane, nitrous oxide and carbon dioxide emissions from ruminant livestock production systems, In: *Takahashi, J. – Young, B. A. – Soliva, C. R. – Kreuzer, M.* (Eds): Greenhouse gases and animal agriculture. Proceedings of the 1st International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture, Obihiro, Japan. 7–11 November, 2001, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 77–85.
- Keyserlingk, M. A. G. – Martin, N. P. – Kebreab, E. – Knowlton, K. F. – Grant, R. J. – Stephenson, M. – Sniffen, C. J. – Harner, J. P. – Wright, A. D. – Smith, S. I. (2013): Invited review: Sustainability of the US dairy industry. *J. Dairy Sci.*, 96. 5405–5425. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6354>
- Kim, K. – Kim, Y. (2012): International comparison of industrial CO₂ emission trends and the energy efficiency paradox utilizing production-based decomposition. *Energy Econ.*, 34. 1724–1741. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.02.009>
- Knapp, J. R. – Laur, G. – Vadas, P. A. – Weiss, W. P. – Tricarico, J. M. É. (2014): Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J. Dairy Sci.*, 97. 3231–3261. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Knowlton, K. – Cobb, T. D. (2006): ADSA Foundation Scholar Award: Implementing waste solutions for dairy and livestock farms. *J. Dairy Sci.*, 89. 1372–1383. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72205-6](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72205-6)
- Lovett, D. – Shalloo, L. – Dillon, P. – O'Mara, F. P. (2006): A systems approach to quantify greenhouse gas fluxes from pastoral dairy production as affected by management regime. *Agric. Syst.*, 88. 156–179. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.03.006>
- Martin, N. P. – Russelle, M. P. – Powell, J. M. – Sniffen, C. J. – Smith, S. I. – Tricarico, J. M., – Grant, R. J. (2017): Sustainable forage and grain crop production for the US dairy industry. *J. Dairy Sci.*, 100. 9479–9494. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13080>
- Marques, A. C. – Fuinhas, J. A. – Tomas, C. (2019): Energy efficiency and sustainable growth in industrial sectors in EU countries: A non-linear ARDL approach. *J. Clean. Prod.*, 239. 118045. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118045>
- McCaughy, W. – Wittenberg, K. – Corrigan, D. É. (1999): Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Can. J. Anim. Sci.*, 79. 221–226.
- Mekonnen, M. M. – Hoekstra, A. Y. (2012): A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15. 401–415. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>
- Miglior, F. – Fleming, A. – Malchiodi, F. – Brito, L. F. – Martin, P. – Baes, C. F. (2017): 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 100. 10251–10271. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12968>
- Milani, F. – Nutter, D. – Thoma, G. É. (2011): Invited review: environmental impacts of dairy processing and products: a review. *J. Dairy Sci.*, 94. 4243–4254. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3955>
- Naranjo, A. – Johnson, A. – Rossow, H. – Kebreab, E. (2020): Greenhouse gas, water, and land footprint per unit of production of the California dairy industry over 50 years. *J. Dairy Sci.*, 103. 3760–3773. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16576>
- National Research Council (2001): Nutrient requirements of dairy cattle. 7th Revised Edition. The National Academies Press, Washington, DC, United States.
- Peterson, C. B. – Mitloehner, F. M. (2021): Sustainability of the dairy industry: Emissions and mitigation opportunities. *Front. Anim. Sci.*, 2. 760310. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.760310>
- Pinares-Patiño, C. – Baumont, R. – Martin, C. É. (2003): Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Can. J. Anim. Sci.*, 83. 769–777. <https://doi.org/10.4141/A03-034>
- Place, S. E. – Mitloehner, F. M. (2010): Invited review: Contemporary environmental issues: A review of the dairy industry's role in climate change and air quality and the potential of mitigation through improved production efficiency. *J. Dairy Sci.*, 93. 3407–3416 <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2719>

- Pryce, J. E. – Haile-Mariam, M. (2020): Symposium review: Genomic selection for reducing environmental impact and adapting to climate change. *J. Dairy Sci.*, 103. 5366–5375. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17732>
- Qiu, Y. – Kahn, M. E. – Xing, B. (2019): Quantifying the rebound effects of residential solar panel adoption. *J. Environ. Econ. Manag.*, 96. 310–341. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.06.003>
- Rajaniemi, M. – Jokiniemi, T. – Alakukku, L. – Ahokas, J. (2017): Electric energy consumption on some Finnish dairy farms. *Agr. Food Sci.*, 26. 160–172. <https://doi.org/10.23986/afsci.63275>
- Robinson, A. D. – Gordon, R. J. – VanderZaag, A. C. – Rennie, T. J. – Osborne, V. R. (2016): Usage and attitudes of water conservation on Ontario dairy farms. *Prof. Anim. Scie.*, 32. 236–242. <https://doi.org/10.15232/pas.2015-01468>
- Shine, P. – Scully, T. – Upton, J. – Shalloo, L. – Murphy, M. D. É. (2018): Electricity and direct water consumption on Irish pasture based dairy farms: A statistical analysis. *Appl. Energy*, 210. 529–537. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.029>
- Upton, J. – Humpreys, J. – Groot Koerkamp, P.W. G. – French, P. – Dillon, P. – De Boer, I. J. M. (2013): Energy demand on dairy farms in Ireland. *J. Dairy Sci.*, 96. 6489–6498. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6874>
- Wolf, R. – Barkema, H. W. – De Buck, J. – Slomp, M. – Flaig, J. – Hauptstein D. – Pickel, C. – Orsel, K. (2014): High herd-level prevalence of *Mycobacterium avium* subspecies *paratuberculosis* in Western Canadian dairy farms, based on environmental sampling. *J. Dairy Sci.*, 97. 6250–6259. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8101>

Érkezett: 2024. április

Szerzők címe: Bognár, L. - Kőrösi, Zs. J.

Holstein-fríz Tenyésztők Egyesülete

Authors' address: National Association of Hungarian Holstein Friesian Breeders

H-1134 Budapest, Lőportár u. 16.

Bene, Sz.*

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Georgikon Campus

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences Georgikon Campus

H-8360 Keszthely, Deák Ferenc utca 16.

*levelező szerző, e-mail: bene.szabolcs.albin@uni-mate.hu

Szabó, F.

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Széchenyi István University, Albert Kázmér Faculty of Mosonmagyaróvár

H-9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.