MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2025. április 24-26.

β-KAZEIN GENOTÍPUS HATÁSA A TEJTERMELÉS ÜZEMI PARAMÉTEREIRE

Effect of β-casein genotype for milk production on farm

Készítette: **Asbóth Zoé Orsolya**
CQXBR0
Osztatlan Agrármérnök, Msc
Nappali
Georgikon Campus

Témavezető: Dr. Polgár J. Péter, egyetemi docens,
MATE ÁTI Állatnemesítési Tanszék

OTDK szekció: **Agrártudományi szekció**

Keszthely
2025.

Tartalom

1.Bevezetés 3

2.Irodalmi áttekintés 4

2.1.A holstein-fríz szarvasmarha fajta 4

2.1.1.Története és hazai jelentősége 4

2.1.2. A holstein-fríz fajta tejtermelése 7

2.1.3. A brown swiss szarvasmarha fajta 8

2.1.4 A tej és termelése 9

2.1.4.1 A tejtermelés élettana 9

2.1.4.2 A tej és hatása az emberi szervezetre 10

2.1.4.3 A tej beltartalmi értékei 11

2.2 Kazein formák 13

2.2.1. A tejfehérje kazein polimorfizmusai 14

2.2.2. A β-kazein polimorfizmusa 15

2.3. Örökítés: az A2 brand 17

2.3.1. A2A2 β-kazeint örökítő tenyészbikák napjainkban 18

3. Anyag és módszer 20

4. Eredmények és értékelésük 22

4.1. A holstein-fríz és a brown swiss egyedek termelésének összehasonlítása 23

4.2. Tejfehérje polimorfizmus tej beltartalmi paramétereire gyakorolt hatása 24

4.3. A genotípus alapján kialakított csoportok átlagainak összehasonlítása 29

4.4. Harmadik laktációs tehenek termelésének összehasonlítása a β-kazein típusa szerint 32

4.5. Az A2A2 β-kazein típusra való szelektálás sikerességének vizsgálata az átlagos tej kilogramm viszonylatában 36

5. Összefoglalás 38

6. Irodalom jegyzék 40

7. Köszönetnyilvánítás 42

1.Bevezetés

A tej és tejtermékek fogyasztásának piaca az állattenyésztés ágazatai közül kiemelt fontosságúvá emelte a tehéntej termelést. A közel 2 milliárd liter tehéntej és az abból előállított széles körű termelési skála kiváló minőségű és táplálóértékű, ezek mellett jelentős élvezeti értékkel bíró élelmiszert eredményez.

Egyre nagyobb a kereslet a növényi alapú termékekre, melyek a tejtermékeket hivatottak helyettesíteni. Úgy vélem, hogy a növényi alternatívák nem elégítik ki az egészséges táplálkozás feltételeit, de ezek nem kapnak akkora hangsúlyt, mint a tehéntejről terjedő tévhitek. A tej az egyik legtermészetesebb alapélelmiszerünk mely nélkülözhetetlen a táplálkozásunk során, ezért fontosnak tartanám egy természetes alternatíva, az A2 tej megismertetését a fogyasztókkal.

Dolgozatomban egy holstein-fríz tehénállománnyal működő tejelő szarvasmarhatelep állományának szisztematikus átalakítását vizsgáltam. A munkám során elemeztem, hogy milyen tejmennyiségi és beltartalmi érték változások mentek végbe a Makrom Kft mágocsi telepén, azon időszak alatt amikor az A1-es β-kazein génnel rendelkező egyedek selejtezésével az A2-es β-kazeinnel rendelkező állatok tenyésztésére irányuló programot folytatták le. Az A1-es β-kazein formáról ugyan nem bizonyították, hogy direkt módon káros lenne az emberi szervezetre, betegséget okozna, de kutatások kimutatták, hogy ha tejcukor érzékenységben, szívbetegségben vagy 1-es típusú cukorbetegségben szenvedők az A1-es formától mentes diétát folyatnak, akkor javulás figyelhető meg az állapotukban. A Makrom Kft mágocsi telepén 2022 április óta van külön A2-es csoport, mely egyedek tejét külön fejik és saját tejüzemükben jobb emésztésélettani hatású, GMO-mentes prémium tejtermékeket állítanak elő a fogyasztók számára. Figyelmem kiterjedt arra is, hogy az elmúlt években hogyan alakult az A2A2 genetikával rendelkező bikák spermaértékesítése, mivel egyre felkapottabbá vált és erre alapuló brand-ek is alakultak. Így feltételezhető, hogy idővel ezirányú változás fog bekövetkezni a magyar holstein-fríz genetikai állományában. Vizsgálataimat azért is tartom fontosnak, mert jelentősen megnőtt azok száma, akik a tej valamilyen alkotórészére érzékenységet mutatnak a tejfehérje érzékenység vagy laktózérzékenység megléte nélkül is. Vizsgálataimban a β-kazein genotípus termelésre gyakorolt hatását, és a szelekciós folyamat előrehaladását értékeltem.

2.Irodalmi áttekintés

2.1.A holstein-fríz szarvasmarha fajta

2.1.1.Története és hazai jelentősége

A holstein-fríz szarvasmarha jelenleg a világ egyik legmeghatározóbb tejtermelő fajtája, amelyet több mint 100 éve nemesítettek ki az USA-ban és Kanadában a feketetarka lapály fajtából. A 14. században Németalföldön volt elterjedt a feketetarka marha, majd a 15. században Európa szerte elterjedt több színváltozatban. Egészen a 19. századik kell várni amíg kialakul az egységes fekete fehér színezet. A 19. század végén az amerikaiak sok nagy tejtermelésű egyedet vásároltak, így került Amerikába, ahol hamar tovább nemesítették és 1872-ben törzskönyvezésre került a holstein-fríz, mint önálló fajta (www.hte.hu).

Hazánkba első állományai 1972-ben kerültek be. A 70-as évek végére megnövekedtek az állatállományok, mely részben az egyesüléseknek volt köszönhető, és így az eddig használt technológia elavulttá vált. A telepek korszerűsítése államilag ugyan támogatott volt, ám így is költségesnek minősült. A fejlesztések nagy költségein kívül a hatalmas élőmunka igény a költségcsökkentés lehetőségeinek keresésére sarkalta a tenyésztőket.

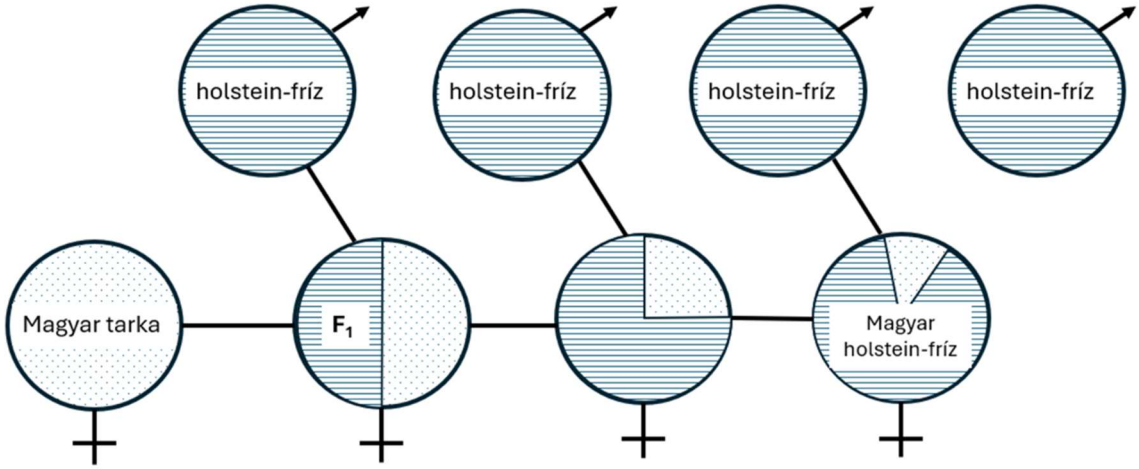
„Az elkövetkező évtizedek minden bizonnyal azt a fő célt fogják az állattenyésztés elé tűzni és ezen belül a tejtermelés elé, hogy az állati termékeket minél gazdaságosabban és nagyobb mennyiségben állítsuk elő” (Horn, 1977).

A szocialista országok szakemberei külföldi tanulmányutakra mehettek és új módszereket próbálhattak ki. Ennek köszönhetően találkoztak Amerikában egy számukra új szemlélettel, miszerint lehet 2.000-nél több tehenet egy telepen tartani 6.000 kg feletti termelési szinten. Itt ismerkedtek meg a fejőházi fejéssel, az ivarzás megfigyeléssel, a számítógépes takarmányozással és a csülökápolás fontosságával (Csomós, 2005).

A 70-es években megugrott a vágómarha- és marhahúsexportunk, így a hasznosítási irányok szétváltak. Innentől beszélhetnünk hazánkban tejtermelő és hústermelő ágazatról. Egyre égetőbbé vált a lakosság tej- és tejtermék igényének kielégítése ezért a kormány szorgalmazta az ezt megoldó program kidolgozását. A szakemberek és a gazdasági vezetők különböző tej és húshasznú fajták behozatalával honosítási és keresztezési kísérleteket folytattak. Elterjedt a mesterséges termékenyítés, aminek a tenyésztésszervezésben és kutatási szempontból is nagy szerepe volt (Csomós, 2005).

Horn Artúr az Agrártudományi Közleményekben kijelentette, hogy az ország nagyüzemi tejtermelő magyartarka állományát az USA-kanadai holstein-fríz fajtával kell keresztezni, mert ez a keresztezés minden további lépés alapját képezi (1977).

A keresztezési program céljául egy új fajta létrehozását tűzték ki, mely a nagyüzemi körülmények között is gazdaságosan tenyészthető, azaz képes átlagosan 5000 kg tej leadására, magasabb a tejzsír termelése, jól bírja a csoportos tartást, nagy mennyiségű tömegtakarmányt vesz fel és a tőgyszerkezete alkalmas a gépi fejésre. Ennek hatására keresztezési program keretében bevonásra került a holstein-fríz fajta a nagyüzemi magyartarka állományokban. A genetikai alapok bázis kialakításához fajtatiszta holstein-fríz üszők, vemhes üszők, tenyészbikák, sperma és később embriók behozatalára került sor. Ezen történések előkészítették az új fajta létrejöttét. 1969-ben a Bábolnai Állami Gazdaságba érkezett Kanadából az első import, majd 1970-ban az Enyingi Állami Gazdaságba és az MTA Martonvásári Kutatóintézet Tangazdaságába. Az import üszők termelése szigorúan ellenőrzött volt, így azon gazdaságok melyek elsőként vásároltak holstein-fríz egyedeket törzstenyészetnek minősültek (Csomós, 2005).



1. ábra: A fajtaátalakító keresztezés modelljének bemutatása. Magyar tarka nőivarú egyedet 100%-os vérhányadú holstein-fríz bika spermával termékenyítünk, ezzel a keresztezéssel létrehozva az F1-es utódnemzedéket. Az F1-es egyedeket holstein-fríz bikákkal termékenyítjük, ezen nemzedék már mind küllemileg mind termelésben a holstein-fríz fajtára fog nagyobb százalékban hasonlítani, de még számottevően jelen lehet a magyar tarka jelleg is. Ezt az utódnemzedéket is holstein-fríz bikákkal termékenyítjük. Ezáltal létre jön a már 85%-ban holstein-fríz vérhányaddal rendelkező új fajtánk, a magyar holstein-fríz. (Forrás: saját szerkesztés)

A fajtaátalakító keresztezés során nemesítendő fajta, jelen esetben a magyar tarka nőivarú egyedeit több generáción keresztül a nemesítő fajta, holstein-fríz bikákkal termékenyítjük.

A közel 25 évig tartó keresztezés hatására kialakult a magyar holstein-fríz fajta, melyet 1995-ben a Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium új fajtaként nyilvántartásba vett. A Mezőgazdasági és Vidékfejlesztési Minisztérium a fajtaelismerést 2002-ben megújította és elfogadta a Holstein-fríz Tenyésztők Egyesületét fajtafenntartóként (Csomós, 2005).

A Magyarországon tenyésztett és tenyésztésbe vett holstein-fríz szarvasmarha állományok sajátos tulajdonságokkal rendelkeznek, így szub-populációt képeznek. A Holstein-fríz Tenyésztők Egyesülete nyitott tenyésztési elveinek következtében és a törzskönyvek nemzetközileg kölcsönös elismerése miatt a holstein-fríz, a holstein és a magyar holstein-fríz megnevezés megegyező jelentéssel bír. A fajta küllemi jellemzői közé tartozik a szabálytalan fekete-fehér, esetenként vörös-fehér-fekete színváltozat, a nagy testtömeg és testméret, valamint a finom csontozat és szilárd szervezet, ahogy a 2. ábrán is látható. A fajtának jó szaporodásbiológiai tulajdonságai vannak, mint például a korai ivarérés és a könnyű ellés. Kiváló a tejtermelése és a fejhetősége. Rendkívül jól alkalmazkodó és intelligens fajta (HFTE Tenyésztési program, 2019).

2. ábra: Holstein-fríz tehén. Juhász Zoltán tulajdonában álló Mirtill nevű tehén, mely részt vett a 2023-as Alföldi Állattenyésztési Napok programján. (Forrás: Juhász Zoltán)

A fajta tehénegyedeinek genetikai értékeit tekintve magas szintű tej-, tejzsír- és tejfehérje termelésre képes. 2022-es adatok alapján a 100%-os vérhányaddal rendelkező egyedek átlagos termelése 11.360 kg tej, 427 kg tejzsír és 378 kg tejfehérje volt (www.hfte.hu).

2.1.2. A holstein-fríz fajta tejtermelése

A világ első tejelés-ellenőrző egyesülete Vejenben (Dánia) jött lére 1822-ben, de már 1871-ben Svájcban megkezdték a tejtermelés ellenőrzését. Az egyes tehenek tejtermelésének ismerete a saját és utódainak értékmeghatározásában és a szelekció szempontjából van jelentősége. A szelekcióhoz szükségesek a tehenek tejtermelésére és a tej beltartalmára vonatkozó adatok. Ezen adatok pontossága és valódisága érdekében viszont a gazdától független személynek vagy szervezetnek kellett végeznie a vizsgálatokat ahhoz, hogy az állatok teljesítménye összehasonlítható legyen. Egységes szempontok és elvek alapján kell végezni a tehenek tejtermelésének megállapítását. Ezen vizsgálatokra idővel megnőtt az igény, így új szempontokkal bővült: a tejmennyiség mellett a tej beltartalmi értékére, zsírtartalmára, az ellés gyakoriságára és az állat származására vonatkozó adatokkal. Hazánkban a svájci és a dán minta alapján 1896-ban alakult meg a Magyaróvári Szarvasmarhatenyésztő Egyesület, mely megszervezte hazánkban a tejtermelés ellenőrzését (Csomós, 2005).

A Magyarországon hivatalos termelés-ellenőrzéssel kapcsolatos feladatokat az Állattenyésztési Teljesítményvizsgáló Kft végzi. A tejtermeléssel kapcsolatos szabályokat, előírásokat a Teljesítményvizsgálati Kódex rögzíti és három termelésellenőrzési módszert különböztet meg. Az egyik az A_4, ahol a hivatalos szervezet szakembere végzi a teljesítményvizsgálatot, a beépített telepi rendszerek használata segítségével. Évente 11-12 alkalommal végzik befejés formájában, 28-34 napos időközönként a napi fejések számával megegyező tejtermeléssel és mintavétellel. A másik módszer az A_V, itt a tejmérést és a mintavételt nem egyszerre, hanem váltakozva végzik. A harmadik B módszernél pedig minden ellenőrzést az állat tartója vagy képviselője végez (Csomós, 2005).

Manapság már a genomika fogalma sem ismeretlen az állattenyésztők számára, mely egy újszerű törekvés a tenyészértékbecslésben és a szelekcióban. Genomanalízis segítségével keresik az összefüggést a genomikai információk és a fenotípusos teljesítménymutatók között, ezen információk birtokában már fiatalkorban, a teljesítmény tényleges ismerete előtt, megtörténhet a tenyészértékbecslés (Szabó és mtsai, 2016).

„Mind a tenyészértékbecslés pontossága mind a szelekció során várható genetikai előrehaladás vagy a keresztezés során jelentkező heterózishatás becslése érdekében fontos, hogy ismerjük az egyes tulajdonságok populációgenetikai paramétereit: örökölhetőségét, ismételhetőségét, korrelációit (fenotípusos, genetikai)” (Szabó és mtsai, 2016).

A tejelő szarvasmarháknál a tejmennyiség tulajdonság örökölhetőségi értéke alacsonyabb, mint a tejzsír és a tejfehérje örökölhetőségi értéke. Valamint a tejmennyiség és a tejzsír %-os mennyisége negatív genetikai korrelációban vannak egymással. A genetikai korrelációt azért fontos megismerni, mert a szarvasmarha nemesítés során rendszerint nem egy tulajdonságot szeretnénk javítani, így míg az egyik tulajdonságot javítjuk a másikat ronthatjuk (Szabó és mtsai, 2016).

2.1.3. A brown swiss szarvasmarha fajta

Az állományban kis létszámban ugyan, de van egy kisebb tehéncsoport, ami nem holstein-fríz fajtájú. A brown swiss is egy intenzív tejtermelő fajtának minősül, mely a 19 század végén a Svájcból Amerikába kerülő barna marhából alakult ki. Az amerikai nemesítők mindig törekedtek arra, hogy ez a fajta is fel tudja venni a versenyt a világ meghatározó tejtermelő fajtáival, főleg a holstein-fríz fajtával. A tenyésztők a tej mennyisége mellett nagy hangsúlyt szerettek volna fektetni a tej összetételre is. A brown swiss állatok által termelt tej a sajtgyártás szempontjából előnyösebbnek mondható, a magasabb koncentrációja és fehérje összetétele miatt. Fontos kihangsúlyozni, hogy utóbbihoz elengedhetetlen a megfelelő takarmányozás. Igyekeztek megőrizni a fajtára jellemző kiváló lábszerkezetet és a hosszabb hasznos élettartamot. A brown swiss egy nagytestű fajtának minősül a tehén testsúlya 600-700 kg, a tejtermelése 8000-9000 kg, a tejzsír % 3,8-4,2%, a fehérje 3,4-3,6% körül alakul átlagosan (Szabó és mtsai, 2016).

3. ábra: Brown swiss tehén. Ez a kép jól szemlélteti az előbbiekben is említett kiváló lábszerkezetet a brown swiss fajtánál. (Forrás: semex.hu)

2.1.4 A tej és termelése

2.1.4.1 A tejtermelés élettana

A tehenek tőgye négy tőgynegyedből áll, melyek egymástól függetlenek és különállóak. A tőgy fő állománya a szőlőfürt formában rendeződött mirigyállományból áll, ezen mirigyek végkamrái az alveolusok. Egy tőgyben 20-100 milliárd alveolus van (Tóth és Bak, 2001).

Az alveolusból kis mirigycsövek erednek, ezek a tejelvezető csatornák később kiszélesednek nagyobb átmérőjű tejutakká. A tejutak nagy tejcsatornává egyesülnek és beletorkolnak a tejmedencébe. A tőgymedence folyatása a tőgybimbóban végződő szűk bimbócsatorna. A tőgybimbóban erős izomréteg van, a benne futó bimbócsatorna belül nyálkahártyával borított. A tőgybimbó végén található záróizom körkörösen, gyűrűszerűen szorítja össze a bimbócsatorna nyílását. A zárást elősegíti a vérellátás és a bőséges nyirokérhálózat. A tőgybimbó csak a rá gyakorolt nyomásra, szopás vagy fejés közben nyílik meg. A tőgy épsége különösen fontos, hisz a sűrű ideghálózat miatt igen érzékeny, a sérülés vagy a durva behatás kihat a tejtermelésre (Csomós, 2005).

A tejleadást a szopás és a fejés közben bekövetkezett idegi és hormonális változások idézik elő. A tejleadás több szakaszra bontható. Fontos a tehenek jó tejleadó képessége, mivel az oxitocin tejleadást megindító hormon 6-8 perc alatt lebomlik a szervezetben így csak ennyi idő áll rendelkezésre az egy tehén fejésére. A tejleadó képesség több szemszögből is vizsgálható:

- átlagos fejési sebesség, ez az összesen kifejt tejmennyiség és a teljes fejési idő hányadosa.
- az első három percre jutó tejmennyiség, ez a tejleadás eloszlására vonatkozó adat, az első 3 perc tejmennyiség és az összes kifejt tej hányadosa (Csomós, 2005).

A tejvisszatartás több alakalommal is kialakulhat, például akkor, ha a fejés 6-8 percnél tovább tart és az oxitocin lebomlik. Szokatlan zaj vagy zavaró ingerek, például az ütés, rúgás, hangoskodás, hatására az oxitocinnal ellentétes hormon, adrenalin képződik. Egyes esetekben előfordulhat, hogy a tehén nem adja le a tejét ivarzás közben, mert ekkor egyes ingerekre érzéketlenné válik nyugtalan viselkedése okán. A tejleadás szempontjából fontos a fejőházi rutin, hogy minden a megszokott időben és sorrendben történjen, mert ellenkező esetben az oxitocin termelés szintén nem lesz megfelelő vagy a termelése meg sem indul (Tóth és Bak, 2001).

2.1.4.2 A tej és hatása az emberi szervezetre

Az ember több ezer éve fogyasztja, frissen, erjesztve vagy esetleg feldolgozva. Az egyik legtermészetesebb táplálékforrás (Holló és mtsai, 1996).

„A tej tartalmazza az ember számára nélkülözhetetlen fehérjéket, esszenciális aminosavakat, zsírokat, szénhidrátot, ásványi anyagokat és vitaminokat. 0,3 liter tej az ember napi szükségletének 20-60%-át fedezni tudja ezekből a tápanyagokból" (Csapó és Szabari, 2022).

Az ember számára nélkülözhetetlen élelmiszert a tejtermelő állatok olyan tápanyagokból állítják elő, melyek emberi fogyasztásra teljesen alkalmatlanok és más gazdasági haszonállat is nehezen hasznosítaná őket. A tej és a tejtermékek hiába elengedhetetlen elemei az egészséges táplálkozásnak, a mindennapi vásárlásnál nem veszik ezt figyelembe a vásárlók. A nagyon hatásos marketing jobban befolyásolja az egyes tejtermékek fogyasztását vagy éppen nem fogyasztását, mint a táplálkozási értékük (Csapó és Szabari, 2022).

„Az internetes böngészés során nagyon heves vitákat találhatunk a tej fogyasztása kapcsán. Ilyen főcímekkel is találkozhatunk, mint pl. „Fehér méreg: a horrorisztikus tej", amelyben olyan állításokat olvashatunk, hogy a tejben „genny, vér, antibiotikum és rákkeltő anyagok" találhatók, vagy, hogy a tej fogyasztása „krónikus fáradtságot, anémiát, asztmát és autoimmun betegségeket" okoz. Ám ennek ellenkezőjét is megtalálhatjuk a weben. Egy cikk pedig arról szól, hogy „a tej maga az élet elixírje, amely az örök ifjúságot ígéri. Hogyan Dönthetjük el, hogy az ilyen szélsőséges vélemények közül melyik az igaz?" (Givens és mtsai, 2019).

A rengeteg tévhit cáfolására sok kutatás és tanulmány készült. Beszámoltak többek között arról, hogy azon gyerekek, akik rendszeresen fogyasztottak tejet sokkal logikusabb gondolkodással rendelkeztek, valamint kevesebbet hiányoztak az iskolából. Negatív összefüggést mutattak ki a gyomorrák és a tejfogyasztás mennyisége között, ez azzal magyarázható, hogy a tej képes az N-metil-N-nitrozó karbamid metilező képességét csökkenteni, ezért képes a tej megakadályozni a metilezést a gyomorban, csökkentve ezzel a rákos megbetegedéseket (Csapó és Szabari, 2022).

A rendszeres tej és tejtermék fogyasztás megakadályozza a rothasztó baktériumok képződését, ezáltal csökkenti a kórokozó csírák elszaporodási lehetőségét. Tejsavképző baktériumok szaporodnak el az emésztőcsőben (Holló és mtsai, 1996).

2.1.4.3 A tej beltartalmi értékei

A tej különböző alkotórészei a szervezet más területeiről származnak. Például az ásványi anyagok változatlanul kerülnek a tejbe közvetlenül a vérből. A fehérjék és zsírok pedig szintetizáló anyagcsere folyamatok révén jönnek létre. Egy liter tej előállításához 500 liter vérnek kell átmennie a tőgy szövetein. Ezért a tejképzés igencsak anyag és energia igényes folyamat. A tej összetételét befolyásoló tényezők közé tartoznak a genetikai adottságok, a termelőképesség, az éghajlati viszonyok, takarmányozás stb (Csapó, 2014).

A tej különféle méretű, kémiai és fizikai tulajdonsággal rendelkező oldott anyagot tartalmaz, ezért polidiszperz rendszernek mondható. A tehéntej 10-15%-a szárazanyag, 84-90%-a víz. A szárazanyag a tejzsírból, tejfehérjéből, tejcukorból, ásványi anyagból és vitaminokból áll, ezen alkotórészek tejipari felhasználhatósága különböző, ahogy a biológiai értékük is. A tehéntej szagtalan és enyhén édeskés ízű a cukortól (Szabó és mtsai, 2016).

1. táblázat: A tej összetételének bemutatása százalékban megadva (Forrás: Szabó és mtsai, 2016)

Alkotórészek	Szélső értékek	Átlagos értékek	**Holstein-fríz**	Magyar tarka
Víz	84,7-89,7	87,5	**87,5**	87,5
Szárazanyag	10,3-15,3	12,5	**12,5**	12,7
Tejzsír	2,5-6,0	3,8	**3,5**	3,8
Tejfehérje	2,8-4,5	3,3	**3,4**	3,5
Tejcukor	4,4-5,0	4,7	**4,8**	4,7
Ásványi sók	0,6-0,8	0,7	**0,7**	0,7

A víz

A tej a víz 3-4%-át kémiailag kötötten tartalmazza. A tej víztartalmának nagyobb része a szabad víz, mely oldószer is, hisz benne a tejcukor oldódik. A tej vízben oldódó ásványianyagokat és vitaminokat is tartalmaz. Egybefüggő diszperz közeget biztosít a tejfehérjéknek, zsíroknak és

zsírban oldódó vitaminoknak. A víz aránya az időjárás változásával ingadozik. Télen kevesebb, nyáron viszont megugorhat a tejben a víztartalom (Csapó, 2014).

A zsír

A tej jellegzetes enyhén sárga színét a zsírban oldott karotin adja. Szinte 100%-ban trigliceridből áll és mintegy 60 féle zsírsav található benne, ezekből a legfontosabbak a vajsav, olajsav, palmitinsav és sztearinsav. A tejzsírban oldódnak, a színagyagokon kívül, az íz és szaganyagok is. A tej a zsírsavak és származékiak sokfélesége miatt is egyedülálló. Esszenciális zsírsavak közül tartalmaz linolsavat, linolénsavat és arachidonsavat is, valamint egységes és jó a benne található rövid és közepes hosszúságú zsírsavak aránya (Csapó, 2014).

A tejzsír termelés kifejezésére a tejzsír % szolgál. A tejmennyiséget tejzsír kilogrammban adjuk meg. A tejzsírtartalom h^2 értéke magas 0,4-0,6, így jól öröklődő tulajdonságnak mondható, viszont a tejzsírszázlék és a tejmennyiség között negatív összefüggés figyelhető meg. A tejzsírképződés nemcsak a különböző fajtáknál tér el, de az egy fajtába tartozó teheneknél is egyedenként változhat. Általánosan elmondható, hogy a reggeli fejésnél kevesebb a tejzsír, mint az esti fejésnél, valamint az utolsó tejsugarak zsírtartalma jóval magasabb, mint az elsőké, a 8-10%-ot is elérheti. Befolyásoló tényező még a takarmányozás: a lédús takarmány csökkenti a tejzsírtartalmat, még a rostban gazdag takarmány növeli (Szabó és mtsai, 2016).

A tejfehérje

A tejfehérje tartalom kevésbe változékony, mint a zsírtartalom. A takarmányozásnak itt is számottevő szerepe van, a lédús takarmányok kis mennyiségben növelhetik a fehérje tartalmat. A tejzsír és tejfehérje aránya, az úgynevezett fehérjeindex, ami a tejfehérje % és a tejzsír % hányadosa 100-zal felszorozva. A tejfehérje mennyiség jól öröklődő tulajdonság, h^2 értéke 0,5 és 0,6 közé tehető (Szabó és mtsai, 2016).

A tejfehérje 0,3-0,5%-kal kevesebb mint a tejzsír. A tejfehérje a tej fehér színének kialakításában is szerepet játszik (Csapó, 2014).

A tejfehérjében több száz fehérje található meg, de közülük csak néhány jelentős. A tejfehérje 5%-a a vérből származik és az érfalon keresztül átszűrődve jut a tejbe vagy a tejmirigy sejtjeinek membránjából. 95%-a a tejmirigy alveoláris sejtjeiben termelődik. Utóbb említett fehérjék három csoportra oszthatók. Kazeinekre (78%), savófehérjékre (16%) és egyéb fehérjékre (1%). A kazeinek foszfoproteinek, mivel bennük foszfátcsoportok kapcsolódnak össze kovalens kötéssel. Kiváló kalcium és foszfor forrás, fontos szerepe van a fogak és a

csontok egészségének megőrzésében, valamint csökkenti a fehérje leépülését. Lassú felszívódású fehérje. A sajtkészítésben fontos szerepet játszik. Latinul a kazein szó „CASEUS" is sajtot jelent. Meg tudunk különböztetni többféle kazeint, alfa-, béta-, és kappa kazeint. A savófehérjék főképp sajt készítésekor keletkeznek nagy mennyiségben és jelentős részük távozik is. A savófehérjék főként alfa és béta laktoglobulinból állnak. Az egyéb fehérjék alatt pedig a membrán és burokfehérjéket értjük (Baranyai, 2000).

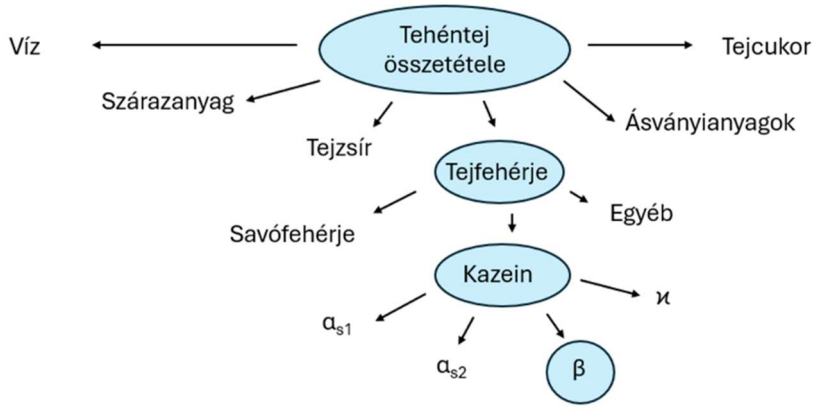
A tejcukor, más néven laktóz

A tej alkotórészei közül a tejcukor mennyisége a legstabilabb, viszonylag mindig állandó értéken van. Csökkenése masztitisz esetén figyelhető meg, ugyanis szerepet játszik a tőgy ozmotikus nyomásának beállításában, ily módon tőgygyulladás esetén lecsökken a tejcukor mennyisége a tejben (Szabó és mtsai, 2016).

A laktóz egy diszacharid, amely glükózból és galaktózból áll. A tej édes ízét adja és mint szénhidrát fontos energiaforrás is. Legfőképpen bontó és fermentáló folyamatokban van szerepe, mint például a savas alvasztás során. A tejcukor a tej szárazanyag tartalmának több mint 1/3-ad részét adja. A hosszú érlelésű sajtok, a keménysajtok cukortartalma szinte nulla, ily módon laktózmentesnek mondhatóak. A sajtgyártás során a savóval együtt távozik a tejcukor jelentős része is (Csapó, 2014).

2.2 Kazein formák

A holstein-fríz tehén teje átlagosan 3,4% tejfehérjét tartalmaz. A tejfehérje 76-86% kazein. A kazein is tovább bontható további négy komponensre, melyek arányai állatfajonként eltérnek. A tehéntej esetében a kazein frakció 45% α_{s1}-, 7% α_{s2}-, 33% β-, és 15% κ-kazeinre bontható elektroforézissel. A kezeinek csoportosíthatók úgynevezett kalcium érzékeny kazeinekre, melyek a tehéntejben normál hőmérséklet és kalcium-koncentráció mellett nem oldódnak, ide tartozik az α_{s1}-, α_{s2}- és β-kazein. A κ-kazein a tejben stabilitása miatt kolloid szuszpenziót képző molekula aggregátumokat, micellákat alkot. A kazeinek nagy mennyiségben képesek megkötni a kétértékű fémionokat, főleg a kalciumot. Ennek a tulajdonságnak nem csak az újszülött állatok fehérjeszükségletének kielégítésében van szerepe, de a kazeinek segítségével szállítódnak a kalcium, magnézium és a foszfát ionok is, melyek nélkülözhetetlenek a csontok fejlődéséhez (Baranyai, 2000).



4. ábra: Kazein formák bemutatása. A tehéntej átlagosan 3,5% fehérje, amely 76-86%-ban kazeint tartalmaz. A kazein 33%-a β-kazeinből áll. (Forrás: saját szerkesztés)

2.2.1. A tejfehérje kazein polimorfizmusai

A tej tulajdonságait nagyban befolyásolják a tejfehérje eltérő alléljai, mivel ezek eltérő biokémiai tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezen eltérő biokémiai tulajdonságok befolyásolják a tej feldolgozását, például a sajtgyártást. A tenyésztők a tej beltartalmi tulajdonságai és a genetikai összefüggések ismerésével már céltudatos tenyésztéssel tudják kiszolgálni a feldolgozóipart. A tejfehérje sav segítségével, ultracentrifugálással bontható savas kazeinre, illetve oltóenzim hozzáadásával oltós kazeinre. A tejfehérje komponenseinek aránya állatfajonként eltér. A tehéntej fehérjéje elektroforézissel négy komponensre osztható, melynek arányai 45% α_{s1}-kazein, 7% α_{s2}-kazein, 33% β-kazein, 15% κ-kazein. Az α_{s1}-, α_{s2}- és β-kazein a tej normál kalcium koncentrációja és hőmérséklete mellett nem oldódik. A κ-kazein stabil micellákat alkot, melyek kisebb szubmicellákból állnak és azokat kétértékű fémionok, Ca2+ és Mg2+ ionok kapcsolnak össze. A kazeinek aminosavláncában klaszterszerűen helyezkednek el a foszforilált aminosavak, mely általában szerin, de lehet treonin is. Ezen aminosavak nagy mennyiségben képesek megkötni a kétértékű fémionokat, főleg a kalciumot (Baranyai, 2000).

„Fontos biológiai funkciójuk az újszülött állatok fehérjeszükségletének fedezése mellett a kalcium, magnézium és foszfát ionok szállítása, melyek nélkülözhetetlenek pl. a csontrendszer kialakulása és fejlődése során” (Baranyai, 2000).

Az α_{s1}-kazein 199 aminosavból felépülő aminosavlánc, melynek jelenleg 8 allélja ismert: A, B, C, D, E, F, G és H. Az európai szarvasmarhafajtákban leggyakrabban a B és C allél fedezhető fel. Az α_{s2}-kazein 207 aminosavból áll. Kutatások alapján vélhetően fehérje génduplikáció következményeként jött létre. A kazeinek közül az α_{s2}-kazein a leghidrofilebb. Négy változata

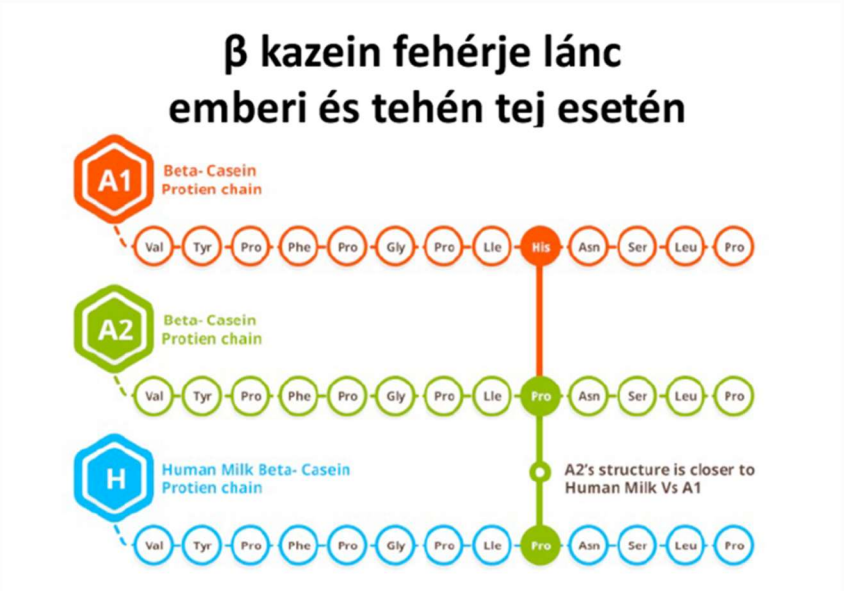
ismert: A, B, C és D. Eddigi vizsgálatok szerint a B és C allél nyugati szarvasmarha fajtákban nem fordul elő. A β-kazein 209 aminosavláncból áll. Nyolc alléljját különítik el: A1, A2, A3, B, C, D, E, valamint F. A κ-kazein 169 aminosavból áll. 9 alléja ismert, melyből csak kettő gyakori az A és a B, ritkábbak a C, E, F, G, H, I és a J (Baranyai, 2000).

2.2.2. A β-kazein polimorfizmusa

Elméletek szerint a kezdetekben minden tehén A2 alléllal rendelkezett. Több ezer éve vélhetően egy spontán mutáció következtében alakult ki az A1-es forma, mindössze egy aminosav megváltozásával.

A β-kazein 209 aminosavból áll és az A1-es és az A2-es forma csupán a 67-es aminosavban tér el. Kutatások szerint a jersey, guernsey, normande és a brown swiss fajtákban nagyobb százalékban fordul elő a β-kazein A2-es formája (Heins, 2022).

A β-kazein A2-es formája prolint tartalmaz a 67. aminosavnál - akár csak az anyatej -, az A1-es forma pedig hisztidint (zilda.hu).



5. ábra: A β-kazein formák eltérésének bemutatása. Az A1, A2 és emberi tej aminosav láncát láthatjuk az 59.-től a 71. aminosavig (Forrás: zilda.hu)

Eme apró eltérés, ugyanakkor hatalmas különbséget eredményez. Az A2 változaton nem megy végbe az enzimatikus hasítás, még az A1 formán igen, amely egy 7 aminosavból álló bioaktív opiát szakasz, úgynevezett BCM-7 azaz β-casomorphin 7 leválását eredményezi (Kay és mtsai, 2021).

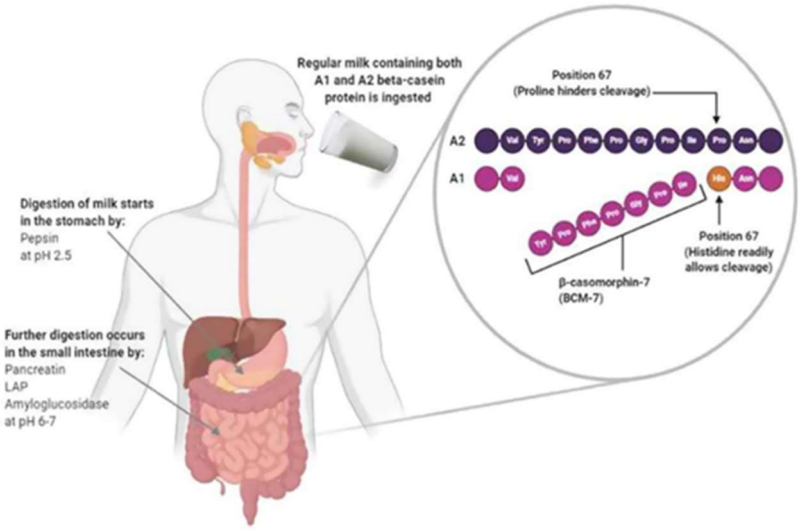
A β-casomorphin 7 Tyrosine-Proline-Phenylalanine-Proline-Glycine-Proline-Isoleucine aminosavakból áll. A BCM-7 nem csak az A1 forma enzimes emésztése során válik ki, hanem a B és a C forma emésztése során is, hisz ezen formáknál is a 67. aminosav helyén hisztidin áll (Yoshikawa, 2013)

Sok tanulmány született a BCM-7 emberi szervezetre gyakorolt hatásáról. Több kutatás és állatkísérlet kimutatta, hogy a β-kazein A1 formáját tartalmazó tej lassabban halad át az emésztőtraktuson és fokozza egyes enzimek aktivitását, ezért sok betegséghez és gyulladásos tünethez kötik, mint például az 1-es típusú cukorbetegség, szívbetegségek és az autizmus (Jeong és mtsai, 2024).

Egy kínai tanulmány alátámasztja az A1-es forma és a gyulladásos tünetek összefüggését. A kísérlet alapján arra a következtetésre jutottak, hogy ezen formát tartalmazó tej fokozott gyomor-bélrendszeri gyulladást, lassabb emésztést és a laktóz intoleranciához hasonló tüneteket okoz (Jianqin és mtsai, 2016).

Egy másik tanulmány szélesebb körben végzett vizsgálatot, mivel a legtöbb ma kapható tej tartalmaz A1-es és A2-es β-kazein formát is. Ezen kutatás A1A1-es, A1A2-es és A2A2-es tej hatását is vizsgálata egereken. Az eredmény itt is alátámasztotta a gyulladásos hipotéziseket, de a fokozott gyulladásos válasz nem csak az A1A1 tejet fogyasztó egereknél volt megfigyelhető, hanem az A1A2-es tejet fogyasztóknál is (UI Haq, 2014).

Német kutatók egy csoportja a tejfehérje polimorfizmus emberi szervezetre gyakorol hatásáról publikált kutatásokat, írásokat vizsgálta. A tanulmányuk végén összegezték, hogy sokkal több és átfogóbb vizsgálatokra lenne szükség ahhoz, hogy pontos konklúziót lehessen levonni az egyes β-kazein formák hatásairól (Kern, 2019).



6. ábra: Az emésztés során kihasadó BCM-7 bemutatása. Emésztés során az aminosavláncból a 60. aminosavtól kezdve a 66. aminosavval bezárólag hasad ki a bioaktív opiát szakasz. (Forrás: Edwards és mtsai, 2021)

2.3. Örökítés: az A2 brand

Egy génnek két allélja lehet minden egyedben, ezért is különböztethető meg három változat: az A1A1, az A1A2 és az A2A2. A β-kazein termelést e két gén kombinációja határozza meg. Amikor a két hordozott allél eltér egymástól heterozigóta állatokról beszélhetünk, mint például az A1A2 tejet termelő egyedeknél. Ezen információk birtokában kijelenthető, hogy egy A2A2 genetikával rendelkező állomány szelekcióval is kialakítható. Két módja is lehet a szelekciónak. Az egyik opció, ha genetikai tesztek segítségével vizsgáljuk és szűrjük az állatainkat, vagy egy kissé lassabb opció a kizárólag A2A2 genetikával rendelkező bikák használata, és az utódok kiszűrése. A Semex létrehozta az A2A2 Brandet kiszolgálva az egyre növekvő A2 tej előállításra vonatkozó igényt. Ennek célja az A2 tejtermelést örökítő bikák bemutatása és értékesítésük segítése, melyek a tenyésztési programba megfelelően beilleszthetőek. Ezen bikák használata garantálja, hogy utódaik legalább egy allélja A2 legyen (semex.hu).

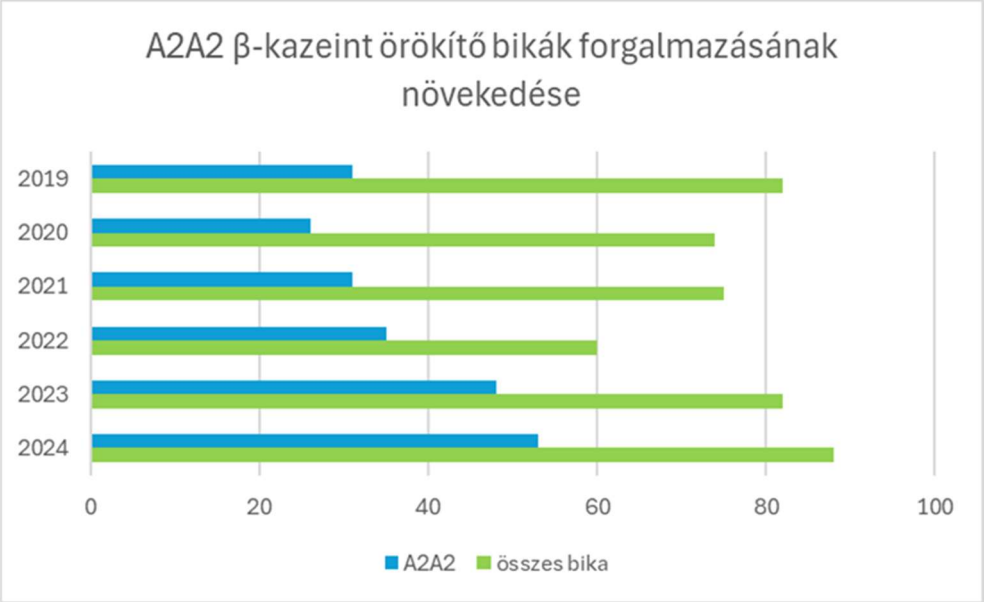
Az A2 homozigóta és heterozigóta egyedek kiválogatása mind genom alapú, mind tej alapú teszteléssel megvalósítható. Az A2 genotípusú bikák használatával és az A2 homozigóta nőivarú egyedek tenyésztésben tartásával rövid idő alatt kialakítható a teljes mértékben homogén A2A2 populáció. Mivel az A1 kazein formáció már kis arányú jelenlét esetén is

indukálja a beazonosított negatív hatásokat, csak 100%-ban A2 állomány tejéből lehet az így „márkázott” tejet és tejtermékeket előállítani.

2.3.1. A2A2 β-kazeint örökítő tenyészbikák napjainkban

A Semex tenyészbika értékesítési adatai alapján kíváncsiak voltunk arra, hogy megállapítható-e valamiféle összefüggés az örökített β-kazein és a bikák iránti kereslet között. A 7. ábrán látható, hogy 2020-tól folyamatosan növekszik azon tenyészbikák száma a Semex kínálatában, akik A2A2 (homozigóta) β-kazeint örökítenek.

A 2022-es évtől a forgalomba helyezett tenyészbikák több mint a fele A2A2 β-kazeint örökítő bika volt. 2023-ban az összesen értékesített holstein-fríz tenyészbika sperma 118.638 adag volt, melynek 70%-a, azaz 83.018 adag A2A2 β-kazeint örökítő bikáktól származott. 2024 július 31-ig ez az arány 75%-os volt.



7. ábra: Az A2A2 β-kazeint örökítő bikák forgalmának növekedése 2019-2024ig. Kékkel az A2A2 β-kazeint örökítő bikák száma van szemléltetve. Zölddel az összes a semex által forgalmazott bikák mennyisége. (Forrás: saját ábra a Semex adatai alapján)

Az A2A2 genotípusú tenyészbikák egyre nagyobb népszerűsége valószínűleg annak köszönhető, hogy a napjainkban legmeghatározóbb tenyészbika választási szempontoknak, azaz „Immunity +” és „Robot Ready” mutatóknak is megfelelnek.

A napjainkban egyik legmeghatározóbb tenyészbika választási szempont az „Immunity +”. Ez az értékmérő magába foglalja mind az egyed mind az utód magas immunitási indexét a genomvizsgálat segítségével. Ez egy jól örökíthető tulajdonság, ezért is van ekkora jelentősége, hisz egy plusz természetes védelmet jelenthet az utódok számára. Ezen tenyészbikák használatával az utódoknál megelőzhetőek az esetleges megbetegedések és erősebb vakcina válasz is várható. A gazdasági hatás sem elhanyagolható, hisz ezzel csökkenthető az utódok kezelési költsége. A másik egyre keresettebb szempont a „Robot Ready” tulajdonság, amely segít a robotfejőgépeknek megfelelő fejhetőségi tulajdonságokkal bíró tehenek tenyésztésében. A „Robot Ready” tulajdonságok közé tartozik többek között a megfelelő robot kompatibilis tőgyalakulás és bimbó helyeződés, magas tőgyegészségügyi mutatók, jó láb tulajdonságok valamint a megfelelő tejleadási paraméterek.

A 2024-ben forgalmazott 88 tenyészbika közül 28 felelt meg az „Immunity +” paramétereinek és ebből 16 azaz 57% A2A2 β-kazeint örökítő tenyészbika volt. A „Robot Ready” tulajdonságnak 25 egyed felet meg. ebből pedig 14 azaz 56%-volt A2A2 genotípusú tenyészbika.

8. ábra: A Semex Kft által forgalmazott "Sugarboy" nevű tenyészbika. A képen egy olyan tenyészbika látható, amely A2A2 β-kazeint örökít és mind az „Immunity + „és mind a „Robot Ready” csoportba is bekerült. (Forrás: semex.hu)

3. Anyag és módszer

A dolgozatom témája a tejfehérje polimorfizmusok azon belül a β-kazein genotípus hatása a tejtermelés egyes paramétereire. A vizsgálatom alapját a Makrom Kft. mágocsi tejtermelő tehenészet biztosította, akik hazánkban az elsők között döntöttek az A2-es β-kazeinnel rendelkező egyedekre való szelektálás mellett. A telepen 2022 áprilisa óta van külön A2A2 β-kazeinnel rendelkező egyedekből álló csoport, melyet külön is fejnek és a tejet helyben, a saját feldolgozó üzemükben fel is dolgozzák. A ZILDA tejüzem kizárólag A2A2 tejből készít különböző sajtokat és joghurtokat, már laktózmentes formában is. A 2024 szeptemberi befejés alapján a telep állománya jelenleg 84%-ban áll A2A2 β-kazeinnel rendelkező egyedekből. A 2. táblázatom szemlélteti, a különbséget a mágocsi állomány által termelt tej beltartalmi értékei és a fajtára jellemző értékek között.

2. táblázat: A mágocsi állomány által termelt tej beltartalmi értékei

	Tejzsír	Tejfehérje	Tejcukor
Fajtára jellemző paraméterek	3,5	3,4	4,8
Mágocs (2024)	4,1	3,5	4,8

Az eredményeim a 2024-ben végezett befejések átlagai. A táblázatból jól látszik, hogy a tejzsír mennyisége tér el a leginkább a fajtára jellemző átlagtól, de tejfehérjéről is elmondható, hogy kicsivel a fajta átlag felett van. A tejcukor mennyiségéről pedig elmondható, hogy teljesen egybe esik a holstein-fríz fajtára jellemző átlaggal.

A telep Microsoft Excel formájában bocsátotta a rendelkezésemre az adatokat. Az adatbázis a próbafejések tehenenként rögzített tejmennyiség és beltartalmi adatbázisából került

legyűjtésre. E mellett a tőgy-egészségre nézve hasznos adatként a szomatikus sejtszám is szerepel az adatbázisban. Így több, mint 12.000 próbafejés információi adták az értékelés hátterét. A táblázatkezelő program segítségével készítettük elő az adatokat a további feldolgozásokhoz, majd IBM SPSS 27.0 statisztikai szoftverben elemeztük tovább a rendszerezett adatokat. Először az alapstatisztikai információkat (átlag, szórás, cv%) értékeltünk. Ezután ANOVA egytényezős varianciaanalízist futtattunk le, hogy számszerűsíteni tudjuk a vizsgált hatásokat. A vizsgálatokban az eltérő fajtájú és genotípusú egyedek esetében is ugyanazon paraméterek értékelése történt meg. A hatásvizsgálatok esetében a szignifikanciát Tukey teszttel 5%-os hibavalószínűségi szintre beállított modell paraméterezéssel teszteltük. Azon egyedek, melyek a vizsgálatom részét képezik, a vizsgált időszakban ugyanazon tartási és takarmányozási körülmények között voltak, így ilyen jellegű környezeti hatás nem befolyásolta az eredményeimet.

4. Eredmények és értékelésük

IMB SPSS 27.0 statisztikai program segítségével értékeltem az adataimat. Elsőként egy leíró statisztikát végeztem, majd a vizsgálati paramétereimnek megfelelően hatásokat egyténye zős varianciaanalízisek formájában futtattam le.

A leíró statisztika egy alap statisztikai elemzés, mely megmutatja a vizsgált adatok minimum, maximum értékét, amely a minták kapcsán mért az adatok legkisebb és legnagyobb értékeit jelenti. Az átlag oszlopban a beltartalmi értékek átlagát, a szórás oszlopban, pedig az átlagtól való átlagos eltérést láthatjuk. A CV% a variációs koefficiens a szórás értékét fejezi ki százalékban. A 3. táblázat a közel 13.000 próbafejési minta adatai alapján futatott alapstatisztika eredményeit tartalmazza.

3. táblázat: Leíró statisztika mutatószámai

Az alapadatok leíró statisztikája				
Paraméterek	**Elemszám**	**Átlag**	**Szórás**	**CV%**
Próbafejés száma	12725	6,46	4,05	62,67
Napi tejtermelés, kg	11812	30,92	8,25	26,68
Zsír, %	11812	4,24	0,82	19,31
Fehérje, %	11812	3,58	0,49	13,63
Cukor, %	11812	4,73	0,49	10,33
SCC, ezer sejt/ml	11812	301,79	760,44	251,98
Kor/ hó	12725	54,64	15,49	28,35

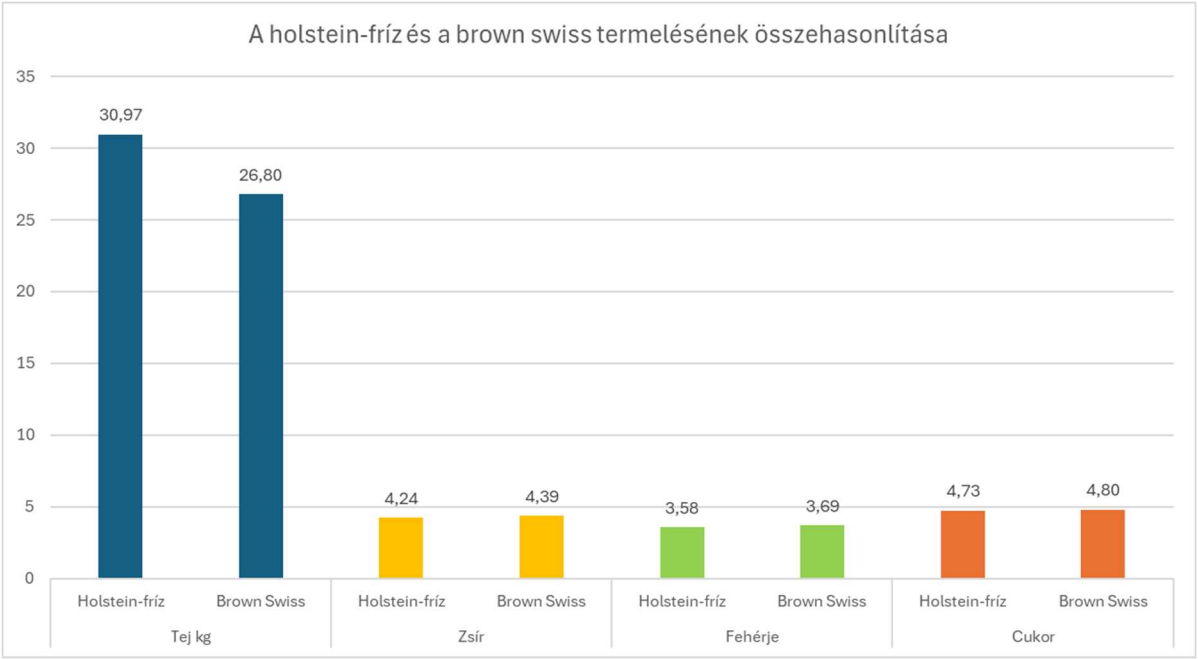
A kapott értékek vizsgálata során látható, hogy egy vizsgálati paraméter, a szomatikus sejtszám esetében volt magas a szórási érték. A szomatikus sejtszám esetében ez nem meglepő, hisz ez a magas maximum érték valószínűsíthetően egy esetleges tőgygyulladás eredménye. A szomatikus sejtszám átlag értéke lényeges az értékesítés szempontjából 400 ezer alatt van, ami a magas maximum érték ellenére is normálisnak tekinthető. Az egészséges tőgyből származó tejben a szomatikus sejt mennyisége 200.000-nél kevesebb milliliterenként. A többi tulajdonság, különösképpen a tejzsír, tejfehérje és a tejcukor esetében nem születtek magas,

kiugró értékek, ezek átlagos értékei közel azonosak a 2. táblázatban szemléltetett állományi átlagokkal.

Ezt követően a vizsgálati paramétereknek megfelelően egytényezős varianciaanalíziseket végeztünk. Az egytényezős varianciaanalízis a normál eloszlású csoportok átlagának csoportokon belüli és csoportok közötti varianciaértékeken alapuló összevetésén alapszik, egy tényező hatását elemezve. Szignifikancia vizsgálatot is végeztem a varianciaanalízis során, melyből látható az elemzés során kapott hiba valószínűsége, mértéke. Az átlagok eltérését akkor tekinthetjük szignifikánsnak, vagyis a hatást bizonyítottnak, ha ez 5% vagy annál kisebb. Tehát ha a kapott érték 0,05 vagy annál kisebb akkor nem a véletlen okozta az eredményt, hanem a vizsgált hatás.

4.1. A holstein-fríz és a brown swiss egyedek termelésének összehasonlítása

Az alapstatisztika elvégzése után az adatbázisomban szereplő befejési adatokat az egyedek fajtái szerint csoportosítottuk. Ahogy már említettem a mágocsi telepen nem csak holstein-fríz egyedek, hanem minimális százalékban a brown swiss fajta is jelen van a termelésben. Az előzőekben megfogalmaztam, hogy a telephatás nem befolyásolja az eredményeim, mivel egyazon tartási és takarmányozási körülmények érvényesek az összes egyedre melyek adatait felhasználtam. Mivel a telepen két fajta egyedei is megtalálhatóak, célszerűnek tartottam termelésük összehasonlítását. Ez az egytényezős varianciaanalízis független volt a β-kazein típusától, a fő tényező egyedül a fajta volt. Az adatokat 2019-től 2024 augusztusáig rendelkezésre álló befejési adatok képezték.



9. ábra: Holstein-fríz és brown swiss egyedek tejtermelésének összehasonlítása. Az oszloppárok bal oldali oszlopa a holstein-fríz egyedek átlagos termelését, a jobb oldali oszlopa a brown swiss egyedekét jelöli. Kék színnel a tej kg, citromsárgával a tejzsír%, zölddel a tejfehérje% és narancssárgával a tejcukor% látható.

Az eredményeket jól szemlélteti a diagramm. A brown swiss esetében egy testméretben a holstein-frízhez hasonló fajtáról beszélhetünk, de tejtermelésben mégis jelentősen alul marad. A szignifikancia vizsgálat csak egy tényező esetében a tejcukor % elemzésekor mutatott 5%-nál nagyobb értéket. A többi esetben a szignifikancia szint 5% alatti volt. Ahogy a diagram is mutatja a többi vizsgálati tényező, a tejzsír% és a tejfehérje% esetében is közel azonos, de inkább kicsivel nagyobb átlag értékek születtek.

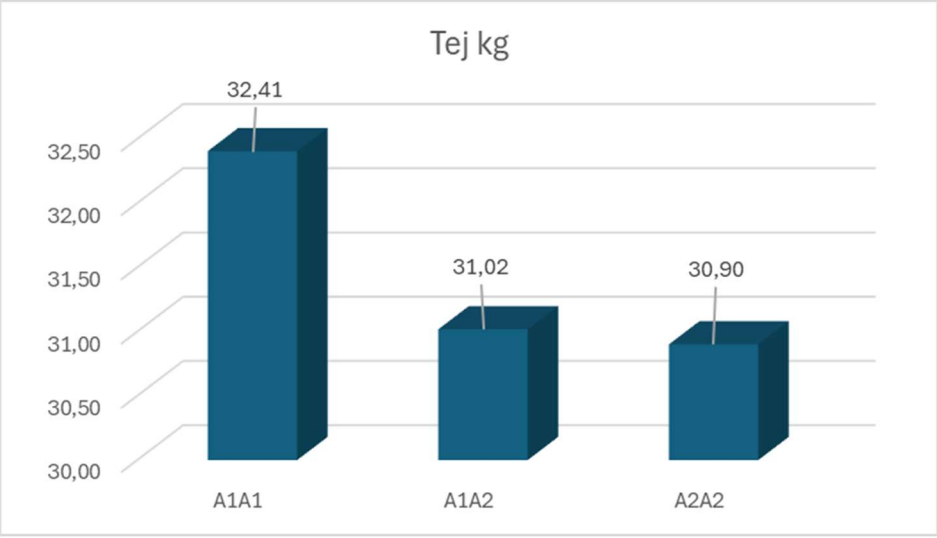
4.2. Tejfehérje polimorfizmus tej beltartalmi paramétereire gyakorolt hatása

A továbbiakban az adataim három fő csoportba bontva lesznek láthatók, az egyedek β-kazein típusa szerint. Leíró statisztikát készítettem az A1A1, A1A2 és A2A2 csoportra vonatkozóan, amely a 4. táblázatban látható. A leíró statisztika alapján elemeztem mind a tej kg, a tejzsír%, a tejfehérje%, a tejcukor% és a szomatikus sejtszámot mennyiségét. A szórás, azaz az átlagtól való eltérés – az SCC kivételével - egyik vizsgált paraméternél sem volt jelentős, így a leíró statisztika vélhetően helyes eredményeket tartalmaz.

4. táblázat: Egyes paraméterek β-kazein szerinti elemzése

		Elemszám	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum	Szignifikancia szint
Tej kg	**A1A1**	529	32,41	9,48	2,1	60	0,00
	A1A2	3579	31,02	8,84	1,8	65,4	
	A2A2	7608	30,90	7,73	2,3	62,1	
Zsír	**A1A1**	529	4,45	0,78	0	9,23	0,00
	A1A2	3579	4,39	0,82	0	9,52	
	A2A2	7608	4,16	0,80	0	9,79	
Fehérje	**A1A1**	529	3,65	0,49	0	4,67	0,00
	A1A2	3579	3,65	0,49	0	5,59	
	A2A2	7608	3,54	0,47	0	5,45	
Cukor	**A1A1**	529	4,67	0,45	0	5,35	0,00
	A1A2	3579	4,71	0,45	0	5,39	
	A2A2	7608	4,75	0,49	0	5,37	
SCC	**A1A1**	529	301,48	585,83	0	5186	0,00
	A1A2	3579	345,37	835,68	0	9428	
	A2A2	7608	274,70	721,48	0	9999	

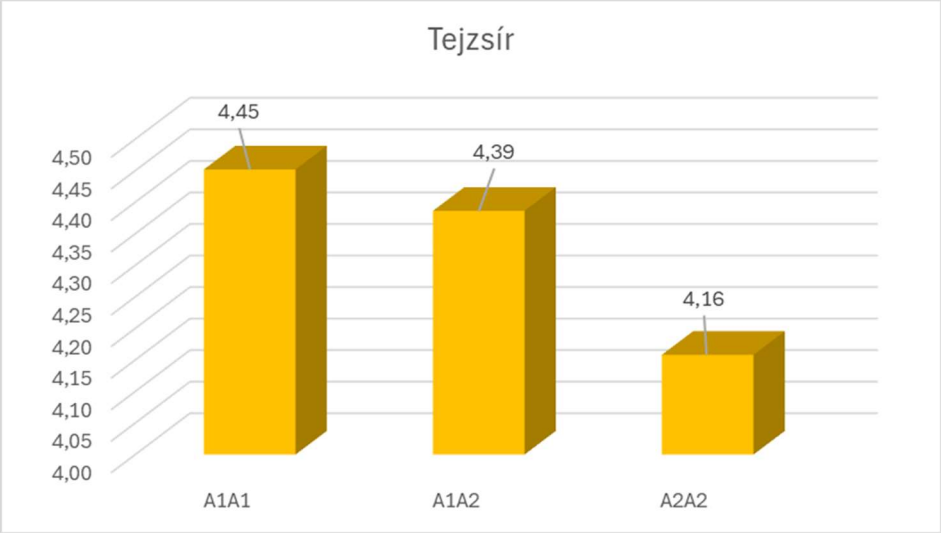
A 4. táblázat a különböző β-kazein genotípusok befolyásoló hatását mutatja be a tej kilogrammra vonatkoztatva. Az eredmények szignifikánsan kimutathatóak, mivel a szignifikancia szint (hiba-valószínűség) 5%-nál kisebb.



10. ábra: A β-kazein genotípus befolyásoló hatása a tej kilogrammra. Az elsőoszlopban az A1A1 csoport, a másodikban az A1A2 csoport és a harmadik csoport az A2A2 csoport átlagos tej kg termelését láthatjuk.

Az ábra alapján igazolódni látszik az az elképzelés, hogy a nagyobb tejhozamra való szelektálás miatt terjedt el spontán mutációval létrejött A1-es β-kazein forma. Az A1A1 és az A2A2 csoport között 1,5 kilogramm különbség mutatható ki az adatok teljes volumenét értékelve. Tehát ezen esetben elmondható, hogy tejmennyiségben az A2-es β-kazeinnel rendelkező egyedek termelése kissé gyengébb, mint az A1-es β-kazeinnel rendelkező egyedeké.

A következőkben a tejzsír%-ot elemeztem. A különbségek itt is szignifikánsak voltak, de ez az elemzésben a két homozigóta csoport között csak 0,31%-ot jelent.

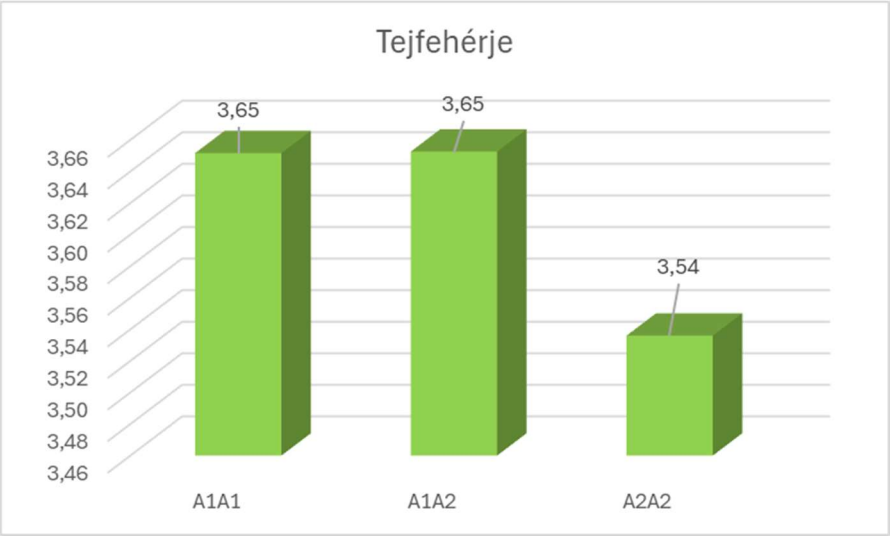


11. ábra: A β-kazein genotípus befolyásoló hatása a tejzsír%-ra. Az elsőoszlopban az A1A1 csoport, a másodikban az A1A2 csoport és a harmadik csoport az A2A2 csoport átlagos tejzsír% termelését láthatjuk.

Az A1A1 és az A1A2 csoport tejzsír termelése között ugyan szintén szignifikáns volt a különbség, de ez csak 0,06%, amely különbség igen csekélynek mondható. A tejzsír% egy nagyon magas h2 értékkel rendelkező tulajdonság, tehát jól öröklődik, de negatív korrelációban van a tej kilogrammal. Elképzelhető, hogy a telepen az A2A2 vonal kialakítása során a fő cél inkább a tejtermelés volt.

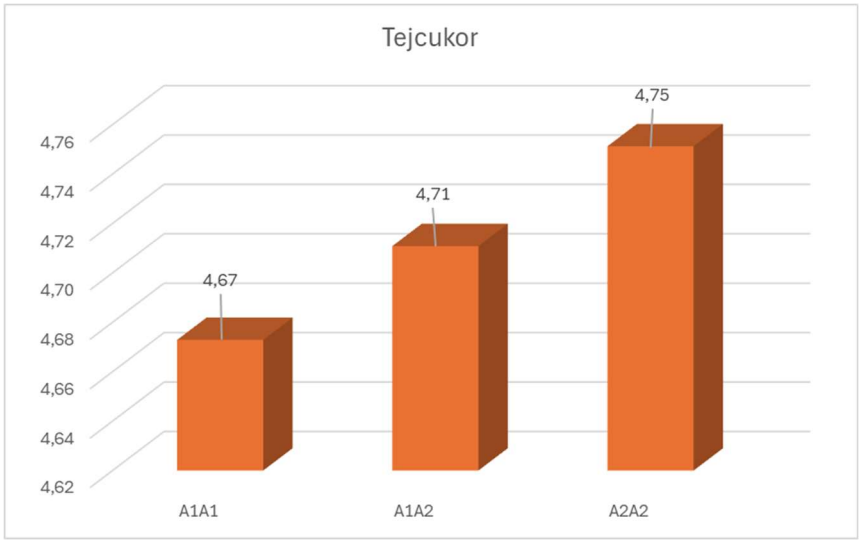
A tejfehérje átlagosan 0,3-0,5%-kal alacsonyabb a tejzsír%-nál. Az elemzés azt mutatja, hogy a tejfehérje% az A1 β-kazeint tartalmazó homozigóta és heterozigóta csoportnál is azonos volt, ám ez a 3,65%-os eredmény a tejzsír%-hoz képest 0,7-0,8%-os különbséget jelent. Az A2A2 csoport esetében a tejfehérje termelés 3,54% volt, ami 0,11% -kal kevesebb mint a többi

csoportnál. Az eltérések itt is szignifikánsak voltak. A holstein-fríz fajtára átlagosan 3,5%-os tejfehérje termelés jellemző. A vizsgálat alapján kijelenthető, hogy az átlagos termeléstől egyik vizsgált csoport sem maradt el.



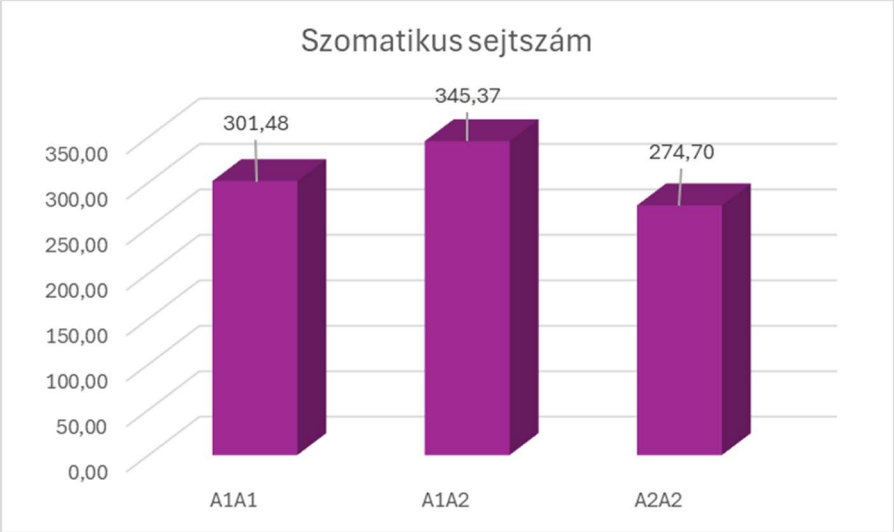
12. ábra: A β-kazein genotípus befolyásoló hatása a tejfehérje%-ra. Az elsőoszlopban az A1A1 csoport, a másodikban az A1A2 csoport és a harmadik csoport az A2A2 csoport átlagos tejfehérje% termelését láthatjuk.

A 13. ábrán a csoportok tejcukor %-os termelése látható. Jól szemlélteti, hogy a fajta átlagot, azaz a 4,8%-ot csak a A2A2 csoport közelíti meg. Az A1A1 csoport ennél a vizsgálati paraméternél jóval rosszabbul teljesített, mint az A2A2 csoport.



13. ábra: A β-kazein genotípus befolyásoló hatása a tejcukor%-ra. Az elsőoszlopban az A1A1 csoport, a másodikban az A1A2 csoport és a harmadik csoport az A2A2 csoport átlagos tejcukor% termelését láthatjuk.

Vizsgálatunk során meglepő módon a szomatikus sejtszám elemzésekor is szignifikáns különbségeket tapasztaltunk. A 14. ábrán láthatjuk, hogy az A2A2 csoport átlagos szomatikus sejtszáma jóval kisebb a többi vizsgált csoporténál. Ezen vizsgálati paraméternél elmondható, hogy a legmagasabb értékkel rendelkező csoport a A1A2 volt, még az előzőekben azt tapasztaltuk, hogy a heterozigóta csoport értékei a két homozigóta csoport értékei között álltak. Kijelenthetjük tehát hogy a szomatikus sejtszám tekintetében az A1A2 csoport termelése volt a legrosszabb még az A2A2 csoporté a legkedvezőbb.



14. ábra: A β-kazein genotípus befolyásoló hatása a szomatikus sejtszám alakulására. Az első oszlopban az A1A1 csoport, a másodikban az A1A2 csoport és a harmadik csoport az A2A2 csoport átlagos szomatikus sejtszám mennyiségét láthatjuk, ezer/milliliterben megadva.

4.3. A genotípus alapján kialakított csoportok átlagainak összehasonlítása

A következőkben kíváncsiak voltunk arra, hogy melyik csoport átlaga melyik csoport átlagától különbözik szignifikánsan. Ehhez Tukey tesztet használtunk, melynek eredményei az 5. táblázatban láthatók. A teszt az összehasonlított átlagok közti szignifikáns különbséget hivatott kimutatni.

Először az A1A1-es csoport tej kg átlagát hasonlította össze a többi vizsgálati csoport átlagával. Az eredmény a „fő különbség” oszlopban mind az A1A2 mind az A2A2 csoport esetében pozitív volt, ez az érték azt mutatja, hogy pontosan mennyivel tért el az A1A1 csoport átlaga a többitől. Ezen különbségek mértéke a „szignifikancia szint” oszlopban láthatók. Tehát elmondható, hogy az A1A1 csoport tej kg termelésének átlaga szignifikánsan különbözik mindkét csoport átlagától. Az A1A2 csoport átlagos tej kg termelése viszont csak az A1A1 csoporttól tért el szignifikánsan. Természetesen jelen esetben negatív az eltérés, mivel az A1A2 csoport tej kg termelése alacsonyabb volt az A1A1 csoport termelésénél. Az A2A2 csoport tej kg átlagához viszonyítva is csak az A1A1 csoporttól való eltérés mérhető szignifikánsan.

A következő vizsgálati paraméter a tejzsír% volt. Itt is először az A1A1 csoport által termelt átlagos tejzsír%-ot hasonlítottuk össze a többi csoportéval. Az eredmény szignifikánsan csak

az A2A2 csoport összehasonlításakor volt megfigyelhető. A különbség pozitív volt, hisz az A1A1 csoport átlagosan magasabb tejzsír%-kal termelt. Az A1A2 csoport átlagos tejzsír termelése szignifikánsan csak az A2A2 csoport termelésétől tért el. Az A2A2 csoport összehasonlításakor viszont mindkét csoportnál mérhető volt a szignifikáns különbség a tejzsír viszonylatában. Ezek az eredmények szintén negatívak voltak, mivel az A2A2 csoport tejzsír% termelése volt a legkevesebb a vizsgált csoportok közül.

A tejfehérje%-ról hasonlóak mondhatóak el, mint a tejzsír%-ról. Itt is szignifikáns különbség csak az A1A1 és az A2A2 csoport összehasonlításakor volt mérhető pozitív irányba, valamint az A1A2 és az A2A2 csoport viszonyának elemzésekor. Az A2A2 csoport átlagos tejfehérje% termeléséhez képest viszont minkét másik csoport szignifikánsan eltért negatív irányba.

A tejcukor viszonylatában elmondható, hogy az A1A1 csoport csak az A2A2 csoporttól tért el szignifikánsan méghozzá negatív módon mivel az A2A2 csoportnak magasabb volt a tejcukor termelése. Az A1A2 csoporthoz képest az A2A2 csoport tért el szignifikánsan szintén negatív módon. Az A2A2 csoporthoz viszonyítva a többi csoport szignifikánsan tért el, pozitív módon.

A szomatikus sejtszám átlagainak elemzésekor kevesebb szignifikáns különbséget fedeztünk fel. Egyedül az A1A2 és az A2A2 csoportok között volt megfigyelhető szignifikáns különbség.

5. táblázat: A vizsgált paraméterek átlagának csoportonkénti összehasonlítása

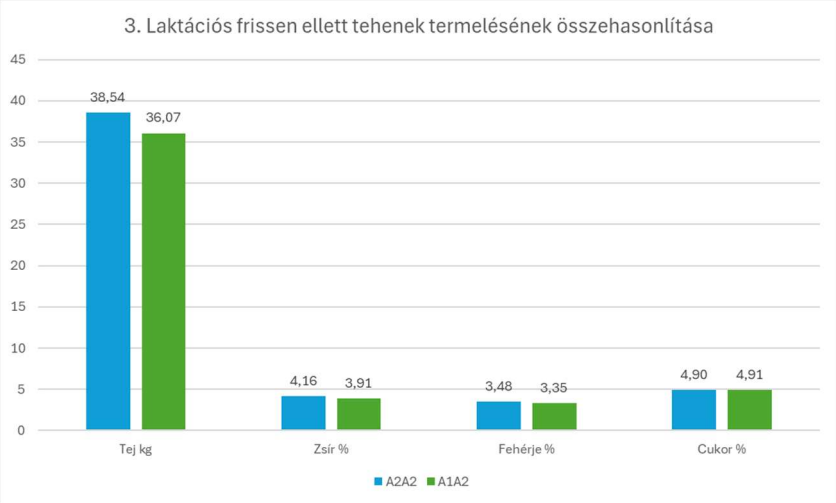
TUKEY TEST						95% megbizhatóság	
			Fő különbség	Statisztikai hiba	Szignifikancia szint	alsó határ	felső hatás
Tej kg	A1A1	A1A2	1,39	0,38	0,00	0,49	2,28
		A2A2	1,50	0,37	0,00	0,64	2,37
	A1A2	A1A1	-1,39	0,38	0,00	-2,28	-0,49
		A2A2	0,12	0,17	0,76	-0,27	0,51
	A2A2	A1A1	-1,50	0,37	0,00	-2,37	-0,64
		A1A2	-0,12	0,17	0,76	-0,51	0,27
Zsír	A1A1	A1A2	0,07	0,04	0,19	-0,02	0,15
		A2A2	0,29	0,04	0,00	0,21	0,38
	A1A2	A1A1	-0,07	0,04	0,19	-0,15	0,02
		A2A2	0,23	0,02	0,00	0,19	0,27
	A2A2	A1A1	-0,29	0,04	0,00	-0,38	-0,21
		A1A2	-0,23	0,02	0,00	-0,27	-0,19
Fehérje	A1A1	A1A2	0,00	0,02	1,00	-0,05	0,05
		A2A2	0,12	0,02	0,00	0,07	0,17
	A1A2	A1A1	0,00	0,02	1,00	-0,05	0,05
		A2A2	0,12	0,01	0,00	0,09	0,14
	A2A2	A1A1	-0,12	0,02	0,00	-0,17	-0,07
		A1A2	-0,12	0,01	0,00	-0,14	-0,09
Cukor	A1A1	A1A2	-0,04	0,02	0,21	-0,09	0,01
		A2A2	-0,08	0,02	0,00	-0,13	-0,03
	A1A2	A1A1	0,04	0,02	0,21	-0,01	0,09
		A2A2	-0,04	0,01	0,00	-0,06	-0,02
	A2A2	A1A1	0,08	0,02	0,00	0,03	0,13
		A1A2	0,04	0,01	0,00	0,02	0,06
SCC	A1A1	A1A2	-43,89	35,07	0,42	-126,09	38,32
		A2A2	26,78	33,85	0,71	-52,57	106,14
	A1A2	A1A1	43,89	35,07	0,42	-38,32	126,09
		A2A2	70,67	15,26	0,00	34,90	106,44
	A2A2	A1A1	-26,78	33,85	0,71	-106,14	52,57
		A1A2	-70,67	15,26	0,00	-106,44	-34,90

4.4. Harmadik laktációs tehenek termelésének összehasonlítása a β-kazein típusa szerint

Azért, hogy a vizsgálatunk tárgyát, azaz a β-kazein tejtermelésre gyakorolt hatását a lehető legkevesebb befolyásoló tényezővel tudjuk vizsgálni a következő elemzést végeztük. A 2024 szeptemberi befejés eredményeivel és adataival dolgoztam ezen vizsgálatkor, melynek során a harmadik laktációjú teheneket csoportosítottuk, nemcsak a β-kazein termelésük szerint, hanem aszerint is, hogy jelenleg hol járnak a laktációjukban. Ezen csoportosítás alapját az ellés és a vizsgált befejés közti napok, azaz a laktáló napok száma adta. Négy fő csoportot alakítottunk ki. Az első csoport a frissen ellett csoport volt, ebben a csoportban azon tehenek tejtermelési adatai kerültek, akiknél az ellés és a szeptemberi befejés között 60 nap telt el. A második csoportot a laktációjuk elején lévő tehenek alkották, akik a laktációjuk 60. és 120. napja között termeltek. A harmadik csoportot a laktációjuk közepén járó tehenek alkották, akik a laktációjuk 120. és 180. napja között voltak. Az utolsó csoport azokból a tehenekből állt, akik a laktációjuk végén és apasztás előtt álltak.

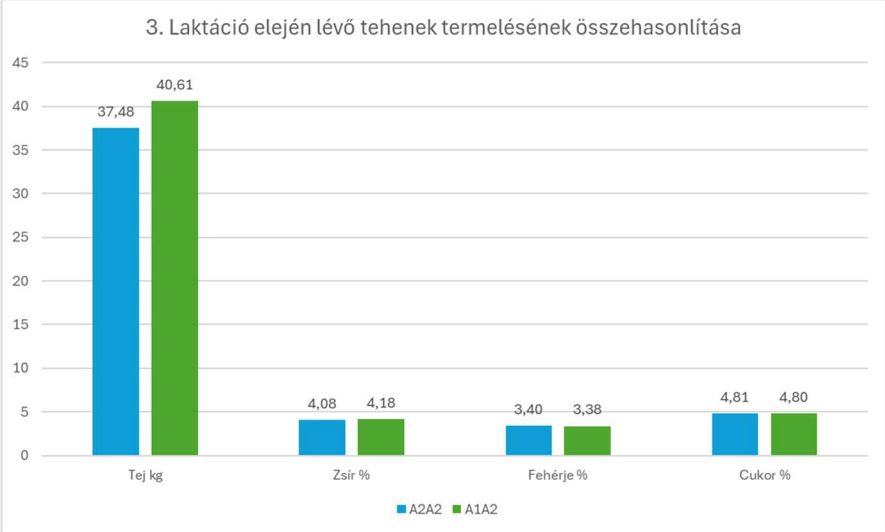
A telep célja, hogy idővel a kizárólag A2A2 β-kazeinnel rendelkező tehenek tenyésztése, de jelenleg A2A2 β-kazeinnel rendelkező egyedek aránya 80% körüli. Ezen okból a vizsgálat során a β-kazein szempontjából nem három, hanem csak két csoportot tudtunk kialakítani.

A 15. ábrán a frissen ellett tehenek tejtermelési adatai láthatók. A tej kg, tejzsír% és tejfehérje% viszonylatában az A2A2 csoport magasabb eredményeket ért el az A1A2 csoporttal szemben. Ez az eredmény esetlegesen utalhat arra is, hogy az A2A2 β-kazeinnel rendelkező egyedek előbb elérik a termelési csúcsukat.



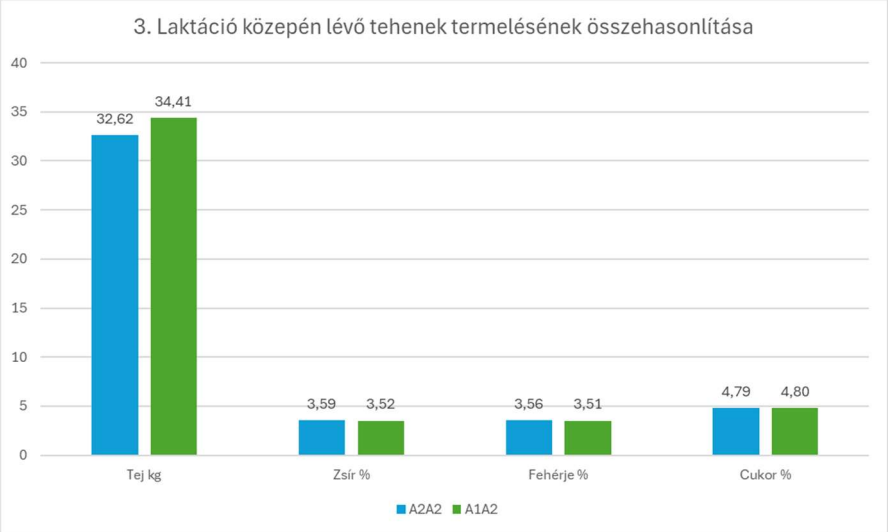
15. ábra: 3. laktációs frissen ellett tehenek termelésének összehasonlítása a β-kazein típusa szerint. Az első oszloppár a tej kg, a második a tejzsír%, a harmadik a tejfehérje% és az utolsó a tejcukor% átlagos adatait mutatja. Kék színnel az A2A2 csoport, zölddel az A1A2 csoport átlagos termelési adatai annak feltüntetve.

A 15. ábrán látható, hogy az A1A2 csoport jóval megelőzte a tej kg termelésben az A2A2 csoportot. Tejzsír% viszonylatában is kissé magasabb értéket ért el a laktáló napok 60. és 120. napja között az A1A2 csoport. A tejfehérje százalékos mennyisége még ezen laktációs szakaszban is az A2A2 csoportnál volt nagyobb. A tejcukor mennyisége viszont szinte azonosnak volt mondható.



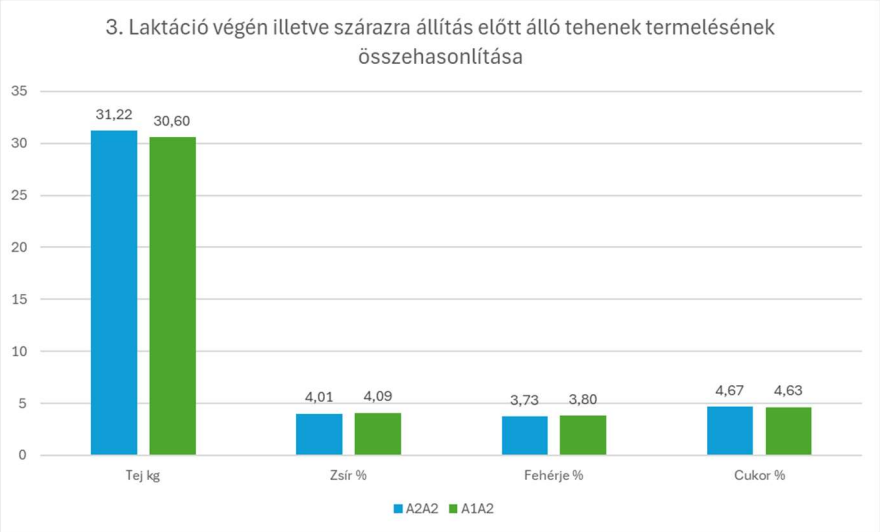
16. ábra: 3. laktáció elején lévő tehenek termelésének összehasonlítása a β-kazein típusa szerint. Az első oszloppár a tej kg, a második a tejzsír%, a harmadik a tejfehérje% és az utolsó a tejcukor% átlagos adatait mutatja. Kék színnel az A2A2 csoport, zölddel az A1A2 csoport átlagos termelési adatai annak feltüntetve.

A 17. ábrán a 3. laktáció közepén járó egyedek termelése látható. Észrevehető, hogy a tej kg mennyiségének különbsége valamelyest csökkent, ám még mindig az A1A2 csoport termel többet. A tejzsír%-ban minimálisan többet termel már az A2A2 csoport, ahogy a tejfehérje viszonylatában is. A tejcukor mennyiség még mindig közel azonosnak mondható.



17. ábra: 3. laktáció közepén lévő tehenek termelésének összehasonlítása a β-kazein típusa szerint. Az első oszloppár a tej kg, a második a tejzsír%, a harmadik a tejfehérje% és az utolsó a tejcukor% átlagos adatait mutatja. Kék színnel az A2A2 csoport, zölddel az A1A2 csoport átlagos termelési adatai annak feltüntetve.

A 18. ábra alapján elmondható, hogy a laktációjuk végén álló A2A2 β-kazeinnel rendelkező egyedek több tejet termeltek a heterozigóta egyedeknél, viszont tejzsír%-ban és tejfehérje%-ban kicsivel gyengébben termeltek. A tejcukor mennyiséget tekintve minimálisan magasabb értéket ért el az A2A2 csoport.



18. ábra: 3. laktáció végén, illetve apasztás előtt álló tehenek termelésének összehasonlítása a β-kazein típusa szerint. Az első oszloppár a tej kg, a második a tejzsír%, a harmadik a tejfehérje% és az utolsó a tejcukor% átlagos adatait mutatja. Kék színnel az A2A2 csoport, zölddel az A1A2 csoport átlagos termelési adatai annak feltüntetve.

4.5. Az A2A2 β-kazein típusra való szelektálás sikerességének vizsgálata az átlagos tej kilogramm viszonylatában

Ahogy már említettem 2022 áprilisa óta van külön A2A2 csoport és a drasztikusabb A2A2 β-kazeinre való szelektálás is innen kezdődött. A szelektálás során a meglévő állomány egyedeit genetikailag vizsgálták a β-kazein státusz megállapítása érdekében. Azon egyedek kerültek tovább tenyésztésre melyek bizonyítottan A2A2 β-kazeinnel rendelkeztek. Ezen teheneket A2A2 β-kazeint örökítő tenyészbika spermával termékenyítették. Mivel a tej és genom alapján is beazonosítható a kazein genotípus, a tenyésztők mind a bikahasználat, mind a direkt szelekció (A1 genotípus kiselejtezése nőivarban) eljárást is egyszerűen meg tudjuk valósítani. Ugyanakkor az A1 genotípus a tej kilogrammra gyakorolt pozitív hatását is figyelni kell, lehetőség szerint olyan A2 egyedek termelésbe állításával, melyek termelése eléri a kívánt szintet. Kíváncsiak voltunk arra, hogy az évek során a genotípus arány változása lehet e befolyásoló hatással az egész állomány évi átlagos tej kg mennyiségére. A 6. táblázat alapján látható, hogy a szelekció során törekedtek magas hozamú A2A2 β-kazeinnel rendelkező állomány beállítására. A 2022-es évben tapasztalt A1 fölény a 2023-as évi adatok alapján kiegyenlítődik, míg a 2024-es évben az A2 genotípusú egyedek átlagos termelése már

meghaladta az A1 genotípus átlagát. A két folyamat - a tej kg növelése és A2 genotípusre történő szelekció - nem zárja ki egymást.

6. táblázat: A szelekció sikerességének vizsgálata az átlagos tej kg viszonylatában

	β-kazein	Genotípus arány	Tej kg	Fejési átlag, kg
2022	A1A1	8,16%	33,00	**31,54**
	A1A2	41,29%	31,18	
	A2A2	50,55%	30,43	
2023	A1A1	3,59%	31,77	**31,50**
	A1A2	28,43%	31,34	
	A2A2	67,98%	31,38	
2024	A1A1	0,61%	26,95	**29,05**
	A1A2	17,96%	29,57	
	A2A2	81,42%	30,65	

5. Összefoglalás

A tehéntejben található fehérje 76-86%-ban kazeint tartalmaz, melynek 33%-a β-kazein. A β-kazein legismertebb formái az A1 és az A2. A nagyüzemű termelésben homozigóta, A1A1 és A2A2, valamint heterozigóta, A1A2 egyedek fordulnak elő. Az A1 és az A2 β-kazein forma csupán a 67. aminosavban tér el. Az A1-es β-kazein formának a 67. aminosava hisztidin. Az A2-es formának, ahogy az anyatejnek is, prolin a 67. aminosava. Dolgozatomban ezen β-kazein genotípusok hatását vizsgáltam a tejtermelés egyes paramétereire nézve.

A vizsgálatokból megállapítható, hogy az A2A2 homozigóta csoport eredetileg kevesebb tejet termelt a többi vizsgált csoporthoz képest. Ez alátámasztja azokat a feltételezéseket melyek szerint az A1A1 forma egy véletlen mutáció során kialakult A1A1 forma a magasabb tejhozamra való szelektálás közben terjedhetett el. A német nyelvben ma is „Urmilch”, azaz ősi tej az A2 konformáció elnevezése. A tejzsír és a tejfehérje vizsgálatának eredményei alapján az A2A2 csoport által termelt tej nem mondható koncentráltnak, hisz ezen százalékok jóval alacsonyabbak voltak a másik két vizsgálati csoporténál. A tejcukor esetében viszont az A2A2 csoport termelése bizonyult a legmagasabbnak. A szomatikus sejtszám tekintetében egy nagyon fontos információval gazdagodtunk, hisz látható volt, hogy az A2A2 csoport átlagos szomatikus sejtszám mennyisége lényegesen és ami még fontosabb szignifikánsan kimutathatóan alacsonyabb volt. Ez nemcsak egészségügyi indikátor lehet, hanem gazdasági jelentősége is meghatározó, hisz így a valószínűsíthető tőgygyulladások száma is kevesebb, valamint a nyerstej értékesítésénél is fontos, mivel Magyarországon 400.000 szomatikus sejtszám alatt minősül kiváló minőségűnek a tej, így ennek felvásárlási ára is magasabb értéket képvisel. A Tukey teszt alapján összességében elmondható, hogy szignifikáns különbség jellemzően csak az A1A1 csoporthoz viszonyítva bizonyítható. Az A1A2 és az A2A2 csoportok között nem volt mérhető szignifikáns különbség a vizsgált paraméterek, azaz a tej kg, tejzsír%, tejfehérje%, tejcukor és a szomatikus sejtszám tekintetében. Az azonos laktációjú egyedek összehasonlításának eredményéről következtetésképpen elmondható, hogy az A2A2 csoport egyedei előbb érik el a termelési csúcsot, de a tej beltartalmi értékek tekintetében nem látható számottevő különbség.

Az A2A2 β-kazeint örökítő bikák egyre nagyobb számban vannak jelen és az igény is egyre növekszik rájuk, mely idővel akár változást is eredményezhet az ország holstein-fríz állományának genetikájában.

Eredményeim és véleményem szerint hamarosan kiemelkedő szerepe lesz az A2A2 β-kazein formának. Ugyan határozott bizonyíték nincs arra, hogy az A1-es forma káros lenne az egészségre, de az biztos, hogy emésztése során nem válik le egy bioaktív opiát szakasz azaz BCM-7. Fontosnak találnám a megfelelő háttér ismeretek biztosítását ezen lehetőségről és a kapcsolódó termékekről. Itthoni példaként már nemcsak a ZILDA tejüzem MAKROM Kft hozható, hanem már az ALDI üzletlánc polcain elérhető A2 Tej Trade Kft által forgalmazott a2 tej is.

Fontos szempontnak tartom a tudatos táplálkozásban, hogy a tudatosság tudományos megközelítéssel, érdemi bizonyítottsággal közreadott információkon alapuljon.

6. Irodalom jegyzék

Baranyai M. (2000): Tejfehérje genetikai vizsgálatok hazai szarvasmarha fajtákban, Doktori értekezés, Gödöllő

Csapó J. -. Szabari M. (2022): A tej és az anyatej ásványianyag-, fehérje- és zsírtartalma Kiadó: Szaktudás Kiadó, Budapest

Csapó. J. – Csapó-Kiss Zs. - Csanádi J. – Fenyvessy J. (2014): Tejipari technológia Kiadó: Scientia Kiadó, Kolozsvár

Csomós Z. (2005): A holstein-fríz szarvasmarha tenyésztése, Kiadó: Mezőgazda kiadó, Budapest

Edwards T. S. – Dawson K. L. – Keenan J. I – Day A. S. (2021): A simple method to generate β-casomorphin-7 by in vitro digestion of casein from bovine milk, Journal of Functional Foods

Givens D. I. - Livingstone K. M. - Pickering J. E. - Fekete Á. A. - Dougkas A. - Elwood P. C. (2019): Fehér elixír vagy fehér méreg?, Tudomány, Egészség, Jókedv folyóirat 2019 májusi száma

Heins B. (2022): A2 milk and A2 genetics, University of Minnesota Extension

Holló I. – Márkó J. – Stefler J. – Wolf Gy. (1996): Szarvasmarhatenyésztés, tejgazdaságtan Kiadó: Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft, Budapest

Holló I. - Szabó F. (2016): Szarvasmarha-tenyésztés, Kiadó: Mezőgazda Kiadó, Budapest

Holstein-fríz Tenyésztők Egyesülete (2019): A magyar holstein-fríz fajta tenyésztési programja

Horn A. (1977): A tejtermelés növelésének biológiai és genetikai feladatai, Állatorvostudományi Egyetem, Budapest

Jeong H. – Park Y. S. – Yoon S. S. (2024): A2 milk consumption and its health benefits, PudMed, DOI: 10.1007/s10068-023-01428-5

Jianqin S. – Leiming X. – Lu X. – Yelland G. W.– Clarke A. J. (2016): Effects of milk containing only A2 beta casein versus milk containing both A1 and A2 beta casein proteins on gastrointestinal physiology, symptoms of discomfort, and cognitive behavior of people with self-reported intolerance to traditional cows' milk, PudMed, DOI: 10.1186/s12937-016

Jeong H. – Park Y. S. – Yoon S. S. (2024): A2 milk consumption and its health benefits, PudMed, DOI: 10.1007/s10068-023-01428-5

Kay S. – Delgado S. – Mittal J. – Eshraghi R. S. – Mittal R. – Eshraghi A. A. (2021): Beneficial effects of milk having A2 B-Casein protein: Myth or Reality?, PudMed, DOI: 10.1093/jn/nxaa454

KErn (2019): A1- Versus A2-milk. Kompetenzzentrum für Ernährung an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft.

Tóth L. – Bak J. (2001): A minőségi tejtermelés technikája Kiadó: Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest

UI Haq M. R. - Kapila R. - Sharma R. – Saliganti V. – Kapila S. (2014): Comparative evaluation of cow β-casein variants (A1/A2) consumption on Th2-mediated inflammatory response in mouse gut, PudMed, DOI: 10.1007/s00394-013-0606-7

Yoshikawa M. (2013): Handbook of biologically active peptides, 1571-1572 o.

7. Köszönetnyilvánítás

Hálával és köszönettel tartozom konzulensemnek, Dr. Polgár J. Péter tanár úrnak a szakmai támogatásáért és iránymutatásaiért, valamint az adatfeldolgozásban való segítségnyújtásáért. A rendelkezésre bocsátott adatokért köszönet illeti a MAKROM Kft-t és a Génbank-Semex Magyarország Kft-t. Végül köszönettel tartozom a családomnak, a szaktársaimnak és a munkatársaimnak, akik támogatásukkal hozzájárultak a munkám elkészüléséhez.