



*A kép illusztráció / Picture is for illustration only
Fotó/Photo: Shutterstock*

Csapó János^{1,2}, Albert Csilla^{1,2}, Szigeti Tamás János³

Érkezett: 2019. július – Elfogadva: 2019. október

Tej és tejtermékek hamisítása, és a hamisítás kimutatására alkalmas analitikai módszerek

KULCSSZAVAK: élelmiszer-hamisítás, hamis élelmiszerek, tej és tejtermékek hamisítása, analitikai módszerek

1. ÖSSZEFOGLALÁS

Az áttekintő cikk első felében a szerzők általánosságban írnak az élelmiszerhamisításról, majd az alábbi kérdésekre keresnek választ: hamisítják-e napjainkban az élelmiszereket; mit jelent az élelmiszerhamisítás és hogyan lehet ellene küzdeni; milyen hatósági intézkedéseket célszerű tenni az élelmiszerhamisítás felderítésekor; milyen szankciókat lehet hozni élelmiszerhamisítás esetén. A cikk szerzői a tej- és tejtermékek hamisítása kapcsán írnak a különféle állatfajtáktól származó tejek, például a bivaly-, a kecske- és a juhtej, valamint az anyatej tehéntej által történő hamisításáról, valamint a szójatej tehéntejhez történő keveréséről. Ismertetik továbbá a savó és az író tejből történő kimutatását, a savófehérje tejtermékekből történő meghatározását, a tejporból előállított tej elemzését és a tej- és tejtermék-hamisítás egyéb lehetőségeit. Végül a tejben, a vajban és a ghee-ben (hagyományos, bivalytejből készült indiai vajkészítmény – a szerk.) lévő egyéb zsiradékok kimutatásáról, a tej vizezéséről, a tej és a tejtermékek hőkezeltiségének meghatározásáról, valamint a fogyasztásra alkalmatlan, romlott tej mennyiségének kimutatásáról írnak. A kéziratban a hamisítások kiszűrésére alkalmas analitikai módszerek elveit is ismertetik.

2. Bevezetés

Az élelmiszer-hamisítás egyidejű az emberiség élelmiszer-termelésével. A hamisítás elsődleges célja a jogtalan (törvénytelen) haszonszerzés. Az élelmiszer-hamisítás legelső írásos emlékei abból az ókori időből maradtak ránk, amikor Hammurapi törvényei már tiltották a gyenge minőségű vagy a túlzottan drága sörök árusítását. Aki a király törvényeit megszegte, komoly büntetésre számíthatott: az élelmiszerhamisítás ugyanis akár az életébe is kerülhetett [1]. Írásos emlékeink vannak arról, hogy a Római Birodalomban hamisították, elsősorban vizezték a bort, amit ugyancsak szigorúan büntettek [2]. Az élelmiszer-hamisítás sajnálatos módon napjainkban is számos országban jelen van, ezért az ellene fellépő hatóságok olyan eljárásokat dolgoztak ki, amelyek alkalmasak lehetnek a hamis élelmiszerek kimutatására, illetve információt adnak magáról a hamisítás tényéről [3].

A tej hamisításának megjelenése az újabb korokra jellemző, a tej vizezése ugyanis egyszerűen megvalósítható: a víz olcsó és könnyen elérhető. Angliában az 1800-as éveket megelőzően a tej kútvízzel történő hamisítása szinte mindennapi gyakorlatnak számított, és csak akkor szorult vissza, amikor a század végén olyan módszereket dolgoztak ki, amelyekkel a tejhamisítás kimutathatóvá vált [4, 5]. A tejhamisítás ma sem szünetel, bizonyos országokban és vidékeken napi gyakorlat a vizezés elfedése só hozzáadásával, a tej zsirtartalmának megnövelése céljából pedig bizonyos esetekben étolajat és detergenset adnak hozzá [3].

Ugyancsak jelentős mennyiségben hamisítják a tejből készült rendkívül drága sajtokat. Az első, az élelmiszergyártás történelmében is emlékeztető hamisításra az Egyesült Államokban az 1870-es években került sor, amikor rájöttek, hogy a jó minőségű wisconsinai sajtokat tömegnövelési célból olcsó zsírokkal, példá-

¹ Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar

² SAPIENTIA Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Kar, Élelmiszertudományi Tanszék

³ WESSLING Hungary Kft.

ul disznósírral hamisítják. Miután a hamisítás ténye kiderült, az említett sajtok kivitele visszaesett, jó híreket elveszítették, ennek visszaszerzése pedig hosszú évtizedeket vett igénybe [3]. A hamisítás ténye napjainkra sem szűnt meg; a drágább sajtok utánzására számos példa akad, holott ezek minősége sok esetben meg sem közelíti az esetenként több évig érlelt, kiváló minőségű, a vásárlók által keresett sajtokét.

3. Hamisítják-e napjainkban az élelmiszereket?

A válasz egyértelműen igen: a médiában rendszeresen bukkannak fel élelmiszer-hamisításról szóló hírek, gondoljunk csak a legutóbbi idők botrányaira, amikor a mézet nagy fruktóz tartalmú kukoricakeményítő hidrolizátummal hamisították mindaddig, amíg a szakértők ki nem dolgozták a megfelelő módszert a fent említett idegen anyag mézből történő kimutatására [6]. A borokkal kapcsolatban két hamisítási botrány robbant ki a közelmúltban. Ausztriában az emberi szervezetbe jutva súlyos mérgezést okozó etilén-glikol tartalmú fagyállóval négy pincészet kísérlet meg testesebb borokat előállítani. Az eset következményeképpen az európai szupermarketek polcairól hosszú időre eltűntek az osztrák borok [7].

Néhány évvel az osztrák eset után egy emlékeztetés borhamisítási botrány sajnos Magyarországon is történt, amikor egy borász az Egri bikavért glicerinnel próbálta „feljavítani”. A borban eredetileg is megtalálható glicerint ugyan nem mérgező az emberi szervezetre, de a megengedett túrési határon felüli glicerintartalom hamisításnak számít [8]. Az egyes italféleségeket megfelelő mennyiségű vízzel hígított élelmiszeripari koncentrátumok, főként cukoroldatok hozzáadásával egyszerűen lehet hamisítani. A narancslében például a glükóz, a szacharóz és a fruktóz aránya 1:2:1, ezért ezt az élelmiszert a cukorrépából kivont invertcukorral hamisítják, mert abban a cukor aránya megegyezik a narancslében lévőkével. Ezekben az élelmiszerekben a cukor mellé a megfelelő sav-cukor arány fenntartása érdekében különféle szerves savakat is kevernek [9].

A hamisítás megjelenésével párhuzamosan – annak visszaszorítása érdekében – a szakemberek folyamatosan dolgoznak olyan módszerek kifejlesztésén, amelyek segítségével képesek kimutatni a hamisítás tényét. A cukoroldattal történő hamisításhoz használt invertcukor például triszacharidot is tartalmaz, amely a hamisítás egyik jelző-anyaga lehet. A narancslé savarányának a beállítására szolgáló almasav az ipari előállítás következtében DL-változatban kapható, ezzel szemben a narancslében csak a természetes L-változat fordul elő. A szintetikus készítményekben a D:L aránya 1:1, ezért amennyiben ilyen típusú mesterséges „almalevet” kevernek a narancsléhez, akkor a D-almasav jelenléte jelzi a hamisítást. A D-sztereoizomer almasav pedig napjainkban már úgy enzimes módszerekkel, mint például nagyhatékonyságú folyadékromatográfiás elválasztással könnyen kimutatható az élelmiszerekben [10].

Természetesen számos egyéb hasonló hamisítási eljárást ismertethetnénk, de erre összefoglaló írásunk korlátozott terjedelme miatt nincs lehetőség. Az előbbieken felsorolt példák arra utalnak, hogy szinte minden élelmiszer hamisítható, és előfordulhatnak olyan súlyos esetek is, amikor a hamisításra használt anyagok az emberi szervezetre rendkívüli módon veszélyesek, sőt, akár halálosak is lehetnek. Ilyen volt például a magyar örölt paprika ólomoxiddal történt hamisítása abból a célból, hogy a készítmény színét kívánatosabbá tegyék [11, 12]. Kínában csecsemőtápszereket és kutyatápokat melaminnal hamisítottak abból a célból, hogy a tápszerek és állateledetek nitrogéntartalom alapján mérhető látszólagos nyersfehérje-tartalmát az előírásosra állítsák be. A melaminnal hamisított termékek elfogyasztása számos csecsemő halálát és állat pusztulását okozta [13].

Saját feljegyzéseink szerint az elmúlt évek során többek között Magyarországon az alábbi élelmiszer-hamisítási esetekre derült fény: tejporban növényi zsírt mutattak ki; mézhez idegen cukrot, porcukorhoz pedig édesítőszerrel kevertek; rosszul tüntették fel a minőség-megőrzési időt; baromfi húsból készült húskészítményeket hamisan címkézték fel; be nem jelentett módon gyártottak sütőipari termékeket, illetve állítottak elő ásványvizet; engedély nélkül gyártottak nyerstejet és füstölt késztermékeket; nem engedélyezett helyen történő vágás után tiltott módon hoztak forgalomba közfogyasztásra szánt élelmiszereket.

A hamisítás oka minden esetben az anyagi haszon-szerzés. A hamis összetevőket sok esetben nehéz felfedezni, mert gyakran a szakemberek előtt is ismeretlenek; az ellenőrzést végzők nem szükségszerűen gyanakodnak a jelenlétükre. Jó példa erre a melamin, amelyet 2007-ig sem szennyező-, sem hamisításra használt anyagként nem tartottak számon egészen addig, amíg kutyatápokból kimutathatóvá vált, illetve amíg 2008-ban csecsemőtápszerekbe és más tejkészítményekbe keverve tömeges haláleseteket okozott. Utóbb kiderült, hogy a melamint már 1979 óta használták hamisításra a nagyobb látszólagos fehérjetartalom elérése érdekében, ám ez egészen 2007-ig rejtve maradt a fogyasztók és a kutatók előtt egyaránt. A melaminnal történő hamisításra azért nem gyanakodott senki, mert e vegyület kimutatása nem volt része a rutin minőségellenőrzésnek. Az élelmiszerek hamisítását jelző rendszert nem tervezhetik olyan célokra, hogy a kezelhetetlenül nagyszámú lehetséges hamisító összetevőt kimutassa. Úgy véljük, hogy az élelmiszerek minőségellenőrzésének gyakorlatában az élelmiszer-hamisítások elleni leg-hatásosabb védekezési mód az, ha a laboratóriumokban azoknak a komponenseknek a mennyiségét ellenőrzik folyamatosan, amelyeket egy jó minőségű élelmiszernek mindenképpen tartalmaznia kell. Egy jól megtervezett elemzés képes felderíteni mind az ismert, mind az ismeretlen hamisító összetevőit, ez pedig nagy előny egy olyan környezetben, ahol nem tudhatjuk, miféle veszélyes hamisítvánnyal találkozhatunk.

4. Tej és tejtermékek hamisítása és a hamisítások kimutatása

A hamisítás kimutatására a szakemberek különféle analitikai módszereket, legtöbbször nagyműszeres technikákat alkalmaznak [3]. Mivel a hamisítás sokrétű gyakorlatának ismertetése már a legfontosabb alapvető élelmiszerek esetében is több könyvtárnyi anyagot kitevő szakirodalommal rendelkezne, ezért dolgozatunkban csak a tej és a tejtermékek kapcsán mutatjuk be a hamisítás kifinomult módszereit, valamint azokat a sok esetben bonyolultnak tűnő analitikai műveleteket is, amelyekkel a hamisítás kimutatható [14, 15, 16].

A jó minőségű tej és tejtermék mentes a szennyeződésektől, a kellemetlen szagtól és íztől, a patogén mikroorganizmusoktól; szomatikus sejt száma és összes mikrobaszáma nem haladhatja meg a megengedett értékeket; nem tartalmaz idegenvizet és semmiféle idegen anyagot, jó az illata és a teje jellemző íze van. Összetétele megfelel a tejre és tejtermékekre vonatkozó magyar élelmiszerkönyvi előírásoknak, illetve a nem az élelmiszerkönyv szerint gyártott termékek esetén a gyártmánylapon rögzített követelményeknek. Antibiotikum- és egyéb toxikus szennyezőanyag-tartalma nem haladhatja meg az Európai Unióban érvényes jogszabályokban rögzített értékeket [17, 18, 19].

Forgalmazásra szánt nyerstej esetében hamisításnak számít, ha a tejhez bármely más összetevőt (elsősorban vizet) hozzákevernek, vagy belőle bármilyen összetevőt (elsősorban zsírt) elvesznek [20]. A hamisítók legtöbbször vizet vagy fölözött tejet adnak a tejhez, valamint kivonják eredeti zsírtartalmának jelentős részét [3, 21, 22]. Az ilyen jellegű hamisítás sűrűségméréssel, fagyáspont-ellenőrzéssel vagy a zsírtartalom meghatározásával ellenőrizhető. A szennyes vízzel, tisztító szerekkel, növényi maradványokkal, állati szőrrel, porral, egyéb szennyezőanyagokkal, állati vizelettel vagy bélsárral szennyezett/fertőzött tej érzékszervi úton is vizsgálható és megkülönböztethető a jó minőségű tejtől [17]. Az érzékszervi módszerekkel nem kimutatható hamisítások kiderítéséhez viszont kémiai analitikai vizsgálati technikákra van szükség. A tejforgalmazást felügyelő szervek több országban olyan pontrendszerrel vezettek be, amely bünteti a tej minőségét rontó tényezők jelenlétét, ezzel összefüggésben pedig alacsonyabb jövedelmet biztosít a nem megfelelő tejet termelő farmereknek. Különösen nagy figyelmet fordítanak a tej antibiotikumokkal, radioaktív anyagokkal, klórozott szénhidrogénekkal és nehézfémekkel történő szennyezésére [17, 20, 23].

4.1. A különféle állatfajtáktól származó tejek és azok hamisítása

A tehén- és a bivalytej, a tehén-, a kecske- és a juhtej elegyítése világszerte általános gyakorlatnak mondható. Ez az Európai Unió élelmiszerjogi rendszerében

nem megengedett, a tejek elegyítése hamisításnak számít. A tehéntejet a leggyakrabban kecsketejjel hamisítják, azonban gyakran előfordul az is, hogy az egyébként kiváló minőségű kecsketejet vízzel vagy tehéntejjel hamisítják [24, 25]. Amennyiben a kecsketejet tehéntejjel hamisítják, annak tápértéke nem változik meg, sőt, ha a hozzáadott tehéntej mennyisége nem haladja meg a 15%-ot, akkor a kecsketejből történő kimutatása is nehéz. A tejek elegyítése sajtok előállításánál okoz érzékszervi hibákat, mert a különböző tejfeleségek eltérő aromát és ízt kölcsönöznek a sajtnak, sőt, az idegen faj teje allergiás reakciót is kiválthat a fogyasztó szervezetében [26].

4.1.1. A különféle állatfajtáktól származó, elegyített tejminták összetételének vizsgálata

A kutatók többféle módszert dolgoztak ki a tejek elegyítésével végzett hamisítás kimutatására [27]. Lees és munkatársai, Aranda és munkacsoportja [28], Bitri és munkatársai [29], Castro és munkatársai [30] immun-analitikai elven működő módszerekről számoltak be. Carioni és munkatársai [31], Kaminarides és Koukiassa [32], Lee és munkatársai [33], Müller és munkatársai [34] gél-elektroforézissel dolgoztak. Špoljarić és munkatársai [35], Mayer és munkatársai [36] a kazein frakciókat izoelektromos fókuszálással választották el, majd annak alapján azonosították az egyes állatoktól származó tejmintákat. A tejmintákat hosszúsárláncú zsírsav-tartalmuk alapján Gutiérrez és munkatársai [37], Carioni és munkatársai [38] gázkromatográfiás, Ferreira és Oliveira [39] pedig a kazeino-monopeptid-tartalmukat nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás elválasztási módszerrel vizsgálta, és határozta meg azok összetételét.

A különböző tejtípusok esetében lehetőséget ad az azonosításra az is, hogy eltérő a kémiai összetételük és az UV-spektrumuk [17], de a tehéntej és a kecsketej eltérő zsírsavösszetétele, valamint a zsírsavakból számolt indexeik különbözősége ugyancsak segítség lehet a hamisítás felderítésében [38].

A rövid szárláncú zsírsavak és azok koncentrációjából számolt indexértékek különösen alkalmasak a tejtermékek hamisításának kimutatására, de a gázkromatográfiás analízis alapján az is bizonyítást nyert, hogy mivel a kecske- és a juhtejből készült sajtok a tehéntejhez képest eltérő rövid szárláncú zsírsav-mintázattal jellemezhetők, indexérték segítségével az egyes sajtok könnyen megkülönböztethetők egymástól [37, 38]. A laurinsav-kaprinsav aránya a tehéntejből készült sajtnak átlagosan 1:1,16, a kecskesajtnak 1:0,46, a juhsajtnak pedig 1:0,58. Ez az arány információt adhat a kecske-, illetve a juhsajtnak lévő tehéntej mennyiségéről. A tehéntej kecsketejhez történő keverését a β -karotin-tartalom alapján is ki lehet mutatni, ugyanis a kecsketejben ez a vegyület nem található meg [40]; 20% kecsketej tehéntejhez történő keverése pedig már az UV-spektrum alapján is kimutatható.

A tehéntej lényegesen nagyobb riboflavin tartalma és xantin oxidáz aktivitása alapján a juhtejhez kevert tehéntej kimutatására enzimatisz módszereket is kidolgoztak, melyeknek köszönhetően a juhtejben megjelenő 2% tehéntej már kimutatható. A módszer hibája, hogy a hőkezelés tönkreteszi az enzimaktivitást, ezért hőkezelt tejek esetében nem alkalmazható.

A juh-, a kecske- és a tehéntej ásványi anyag-tartalma viszonylag állandó, de a különböző elemek aránya a különböző tejekben nagyon eltérő lehet. Az ásványi anyagok mennyiségét befolyásolja a technológiai is: a különböző tejekből készült sajtok között markáns különbségeket találunk [41]. A kalcium és a magnézium aránya például a tehéntejben 23,3, a juhtejben viszont 17,2. Ez alapján a kétféle tejből készült tejtermék egymástól jól megkülönböztethető. A szakemberek a tehén, a kecske és a juh között például azok tejének K/Mg, Na/Ca, Cu/Zn, és Cu/Na arányában találtak különbségeket, multivariációs analízis segítségével pedig a nyomelemeket (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd és Pb) a különböző fajok tejének egymástól történő elkülönítésére tudták használni [41].

A kutatók az egyes fajok tejéből készült sajtokat a különböző kazein frakciók (elsősorban a κ -kazein) eltérő mozgékonyasága alapján például elektroforézissel el tudták különíteni, de ebben az esetben hasznosnak bizonyultak a savófehérje frakciók is [42]. Mivel a tehéntej α -kazein és β -laktoglobulin frakcióinak mozgékonyasága lényegesen nagyobb, mint a kecsketejé, ezért ezek a frakciók is alkalmasak a hamisítás kimutatására [28]. A tehéntej α ₁-kazein frakciója alapján 5-10% tehéntej kecsketejhez keverése kimutathatóvá válik, és ugyanez elmondható a β -laktoglobulin frakcióra is [31].

A sajtok esetében az α -kazein frakció lényegesen érzékenyebb, mint a β -laktoglobulin. Ennek oka egyrészt az, hogy koncentrációja alacsony – mivel a sajt készítés során távozik a tejtörzsből –, másrészt pedig az, hogy hajlamos a kicsapódásra, ami ugyancsak csökkenti a mennyiségét. Az α -kazeinnel kapcsolatos vizsgálatok azon a feltételezésen alapulnak, hogy annak koncentrációja viszonylag állandó a tehéntejben, habár egyes vizsgálatok kimutatták, hogy a koagulációt is befolyásoló egyedi eltérések jelentősek lehetnek, és ez megnehezíti az 5%-nál kevesebb tehéntej kecskesajtból történő kimutatását [32, 36].

A sajtok karbamidos extrakcióját követő izoelektromos fókuszálás a para- κ -kazein-tartalom alapján működő módszer a tehéntej mennyiségének kecske- és juhsajtokból történő, az α -kazeinen alapuló módszerhez képest lényegesen pontosabb meghatározását teszi lehetővé. Ennek a módszernek a segítségével – denzitometriás kiértékelést alkalmazva – már 1-2% tehéntej kimutatható a juhtejből és a juhsajtokból [36].

A kecske- vagy juhtejhez kevert minimum 2% tehéntej kimutatására és mennyiségi meghatározására al-

kalmas a nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia (HPLC) is. Legalább 2,5% tehéntej a juh- és kecsketejből immunodiffúziós módszerekkel és immunoelektroforézissel is kimutatható [43]. A fenti módszerek alkalmasak a sajt tehéntejből származó arányának a meghatározására is, amennyiben a hozzákevert tehéntej mennyisége legalább 10%-os. A tehéntej juh- és kecsketejből történő kimutatására szakemberek korábban radiális immunodiffúziót is alkalmaztak, ez a technika azonban nem terjedt el a gyakorlatban. A rakéta-immunoelektroforézis segítségével ugyancsak megfelelő hatásokkal mutatható ki a tehéntej a másik két faj tejből (1-5% tehéntej kecsketejhez történő keverése esetében), mert a keresztreakció az antitest és a kecsketej között kizárt. A módszer mind a hőkezelt, mind a homogénezett, mind pedig a nyerstej esetében alkalmazható [44].

A szakemberek a tehéntej juhtejből, illetve juhsajtból történő kimutatására az ELISA módszert is megfelelő hatékonysággal alkalmazták, bár a kiméletesen és az ultra magas hőmérsékleten pasztörözött, valamint a sterilizett tej a valószínűsíthető precipitáció miatt gyengébb immunválaszt adott [42, 43].

A módszereket összehasonlítva megállapítható, hogy az elektroforézis – különösen a poliakrilamid-gél-elektroforézis (PAGE) – pontosabb és megbízhatóbb eredményeket ad, mint az immunoelektroforézis vagy a radiális immunodiffúzió. Az elektroforézis segítségével az 5% kecsketej juhtejhez történő keverése nagyobb biztonsággal mutatható ki [45, 46].

4.2. A bivalytej tehéntejjel történő hamisítása

A vízbivaly tejt a mozzarella (a tipikus olasz sajt) előállítása során alacsony ára miatt gyakran hamisítják tehéntejjel. A bivalytejhez kevert tehéntej kimutatására – a kazeinek elektroforetikus mobilitása alapján – sikeresen alkalmazható az elektroforézis. E célra leginkább az α - és a β -kazein alkalmas, hiszen ezek mozgékonyasága tér el leginkább egymástól. A legjobb eredményt mind a poliakrilamid-gél-, mind az agarózgél-elektroforézis esetében a kazeinfrakciók közül is az α ₁-kazein adta. Minden kazeinfrakció megfelelő párja megtalálható a tehéntejben és a bivalytejben egyaránt; ezek izoelektromos fókuszálással (IEF) egymástól szétválaszthatók [47].

A két tej megkülönböztetésére a szakemberek proteolitikus enzimek alkalmazásával, azt követően pedig a frakciók szétválasztásával is próbálkoztak. A kapott frakciók elektroforetikus mozgékonyaságának különbözősége ugyancsak jól hasznosítható a tehéntej bivalytejből történő kimutatására. A γ ₂ és a γ ₃ kazeinfrakció elemzésére plazmin-adagolás után, PAGE és IEF alkalmazásával történtek kísérletek. Ez a módszer alkalmasnak bizonyult az egyik tejtípus másiktól történő, 1% mennyiségű kimutatására és a mennyiségi meghatározásra egyaránt, a már említett kazeinfrakciók alkalmazásának segítségével [48, 49].

A kutatók a hamisítások feltárása érdekében az elektromos vezetőképesség alkalmazásával is próbáltak: ez azon az elven alapul, miszerint a bivalytej elektromos vezetőképessége a tehéntej mennyiségének a hozzáadásával arányosan nő [50]. A zsír zsírsavösszetételének meghatározása is megfelelő módszer lehet; ebben az esetben a bivalytej tejszírájának palmitin- és olajsav-tartalma a folyékony fázisban a tehéntej hozzáadásának hatására szignifikánsan nő. Ez a két zsírsav rendkívül érzékenyen reagál a tehéntejjel történő elegyítésre, segítségükkel 5% tehéntej bivalytejhez történő keverése nagy biztonsággal kimutatható. Mivel a zsírsav-összetételt az évszak, a régió és az állatok takarmánya is befolyásolja, a két faj zsírájának összetételét illetően célszerű az összehasonlítást többféle környezetben elvégezni, a tehéntej részarányának meghatározására pedig a helyi sajátosságoknak megfelelő becslőrendszert létrehozni [51].

Dolgoztak ki módszert a bivalytej kazein micellái által a nyúlban termelt ellenanyag segítségével, valamint karotintartalom alapján is; ennek az alapját az a tény adja, miszerint a bivalytej karotintartalma lényegesen kisebb a tehéntejénél. A bivalytej a tehéntejhez képest több laktenint és kevesebb agglutinint tartalmaz, ami ugyancsak a megkülönböztetés alapját képezheti [52, 53].

A különféle állatfajok teje a különféle illó komponensek alapján is megkülönböztethető egymástól. A tehén-, a kecske- és a juhtejben például a dimetilszulfon az összes illó komponens 25%-át adja, ugyanakkor ez az arány a bivalytejben csak 4%, ami szintén a kétféle eredetű tej elkülönítésének alapját képezheti. A 3-metil-butanal csak a bivalytejben, a fenilacetaldhid és a benzaldehid nagy koncentrációban a kecsketejben, míg a 2-metilketonok és az 1-oktén-3-ol a nagy koncentrációban a bivalytejben található meg. Feniletanol a juh- és a kecsketejben egyáltalán nem mutatható ki, a bivalytejben azonban a tehéntejhez képest százszor nagyobb koncentrációban van jelen. A fent leírt módszerek mind egy-egy potenciális analitikai módszer alapját képezhetik [54, 55].

4.3. Az anyatej hamisítása egyéb tejekkel

A tejevizsgálatoknál rutinszerűen alkalmazott pelyhesedési teszt során a kalcium-acetát megfelelő koncentrációjú oldata a kazein típusú fehérjéket 37 °C-on, a savófehérjéket pedig 60 °C-on csapja ki, de nem ad reakciót sem az emberi tejjel, sem a kolosztrummal. Amennyiben az anyatejből pelyhek csapódnak ki, akkor az tehéntejet is tartalmaz [58]. Az anyatejhez kevert tehéntejet telített réz-szulfát és 0,4% kadmium-szulfát oldattal is ki lehet mutatni, amelynek során csapadék válik ki, ha az anyatej tehéntejet is tartalmaz. Az anyatej vizezése a fagyáspont-növekedés alapján válik kimutathatóvá, ám ez a módszer csak tájékoztató eredményt ad, mert a fagyáspont személyenként, sőt ugyanannak az anyának az esetében időről-időre is változhat [57].

Az anyatejhez kevert tehéntejet az anyatej, illetve a tehéntej fehérjefrakcióinak tulajdonságaiban fennálló különbségek alapján viszonylag egyszerű kimutatni. Mivel a β -laktoglobulin az anyatejben nem fordul elő, ezért annak jelenléte egyértelműen hamisításra utal. A hamisítás bizonyítására a savófehérje frakcióban található α -laktalbumin és a kazeinfrakcióban található κ -kazein is alkalmasnak bizonyult. Ezeknek a fehérjefrakcióknak a segítségével már 1% tehéntej anyatejhez történő keverése kimutatható. Az alkalmazott módszer a PAGE és az IEF [59].

Az anyatej szabadaminosav- és taurintartalma lényegesen nagyobb, mint a tehéntejé. Amíg az anyatej taurintartalma átlagosan 33,5 $\mu\text{mol}/100\text{ ml}$, addig a tehéntejé csak 1,9 $\mu\text{mol}/100\text{ ml}$. A kétféle tej glutaminsavból 262,7 $\mu\text{mol}/100\text{ ml}$, illetve 28,8 $\mu\text{mol}/100\text{ ml}$ mennyiséget tartalmaz átlagosan. Ezeknek az átlagértékeknek az ismerete alapján is kimutatható az anyatejhez kevert tehéntej, mivel az mind a taurin, mind a szabad glutaminsav mennyiségét jelentős mértékben csökkenti. Ioncserés oszlopkromatográfiával oszlop utáni ninhidrinnel történő származékképzésével, illetve nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával oszlop előtti származékképzésével a taurin- és a szabad glutaminsav-tartalom egyaránt meghatározható [60].

4.4. Szójatej a tehéntejben

Napjainkban a szójatej és a szójafehérje mind gazdasági, mind táplálkozási szempontból nagy figyelmet kap. Ez különösen igaz a fejlődő országokra, ahol hiány van jó minőségű állati eredeti fehérjéből, és amelynek helyettesítésére, kiváltására vagy kiegészítésére a szójafehérje alkalmazható. Ezen kívül a szójatej és a belőle készült tejtermék-szerű anyagok ideális tápanyagoknak bizonyulnak a vegetáriánusok és a tejfehérje allergiában szenvedők számára. Nem könnyű azonban olyan analitikai módszert találni, amellyel a tejhez kevert szójafehérje kimutatható, mert 10-20% szójatej tehéntejhez történő keverése nem változtatja meg sem a joghurt, sem a sajt organoleptikus tulajdonságait. 20% szójatej hozzáadása nem változtatja meg az alvadási időt, ennél nagyobb mennyiség esetében azonban már hosszabb alvadási idővel kell számolni [61, 62].

A szerkezetben lévő hasonlóságok sajátos nehézség elé állítják az analitikusokat, amikor valamely tejtermékből szójafehérjét kell kimutatniuk. Erre a célra több módszert is kidolgoztak: a nátrium-dodecilszulfát poliakrilamid gélelektroforézist (SDS-PAGE), különböző szerológiai módszereket és a peptid analízist. Ezek az analízis típusok a szója- és a tehéntej fehérje tartalmában fennálló különbségeken alapulnak [62]. A PAGE-val, 8,6-os pH-jú TRIS puffer (trisz-[hidroximetil]-amino-metán) alkalmazásával a tehéntejből hat, a szójatejből pedig kilenc frakciót lehet elkülöníteni. A szója globulin-frakcióinak elektroforetikus mozgékonyasága nagyobb, mint a vonatkozó tejfehérjéé, a κ -kazeiné, de kisebb, mint a γ -kazeiné. Ezzel a módszerrel 2% szójatej tehén-

tejhez történő keverése kimutathatóvá válik. Az említett módszereken túl a PAGE, az SDS-PAGE és a HPLC is jól használható a szójafehérje kimutatására. Ezeknek a módszereknek a segítségével 5% szójatej tehéntejhez történő hozzáadása nagy biztonsággal kimutatható, mennyisége meghatározható [63].

Hitelesítő görbe segítségével értékelve a HPLC-analízis során kapott csúcsokat megállapítható, hogy 1%-nál több szójatej a tehéntejben nagy biztonsággal kimutatható. Ezeknek a módszereknek a hátránya, hogy drágák, szakképzett személyzetet és drága műszereket igényelnek, miközben az ELISA módszerek lényegesen olcsóbbak, ráadásul a segítségükkel is lehetséges 1%-nál több szójatej kimutatása. Fent említett módszerekkel a szójatejen kívül a tejhez kevert kókusztej is kimutatható [64].

4.5. A tejsavó és az író kimutatása a tejből

A napjainkra megnövekedett sajtgyártás sajtogyasztás következtében megnőtt az előbbi során az üzemekben visszamaradó tejsavó mennyisége is, amelynek elhelyezése és felhasználása gyakran nehézségeket okoz. A savóból készült savópor lényegesen olcsóbb, mint a soványtejpor, felhasználása azonban a magas tejcukor-tartalom miatt korlátozott [38]. A soványtejpor – a gyártására vonatkozó előírások szerint –, csak főlőzött tejből készülhet [105], nem lehet benne oltóenzim, és nem tartalmazhat savóból vagy íróból származó szárazanyagot. A világon sok helyen az édes tejszínből készült vaj gyártása után visszamaradt író por formájában keverik a soványtejporhoz; ennek kimutatására a szakemberek többféle módszert is kidolgoztak. A hamisítás ténye nyomon követhető a savófehérje frakció és a tejsav mennyisége alapján, amely pozitív, ha meghaladja a 150 mg/100g-ot, valamint a hamutartalom alapján, amely pozitív, ha mennyisége meghaladja a 8%-ot.

Az írópor kimutatására felhasználható az elektronmikroszkóp, mert a részecskék felülete eltérő, ha a por soványtejből vagy íróból készül, valamint a savas kicsapódási teszt is, amelynek során a kazein micellák, a savófehérjék és az íróban lévő nagymennyiségű zsírgolyócska-membránok eltérő módon viselkednek.

A különböző országokban a pasztörözött tej hamisítása is nagy problémát jelent. Mivel a savó ára alacsony és organoleptikus tulajdonságai nem térnek el jelentősen a tejétől, ezért a tej savóval történő hamisításával jelentős jogtalan gazdasági haszonra lehet szert tenni [65]. A tejből lévő savó mennyisége azonban a kazein-savófehérje arány alapján kimutatható. A tejmintában a kazein 4,6-es pH-n történő kicsapással meghatározható. A csapadék feletti fázisban savófehérje marad vissza. A tej kazein- és a foszfortartalma szoros összefüggésben áll egymással, mert a foszfátokat csak a kazein képes észterkötéssel megkötni. A foszfortartalomról ilyen módon a kazeintartalomra, abból pedig a tej savóval történő hamisítására következtethetünk [65].

4.5.1. Savófehérje a tejtermékekben

Fontos annak ismerete, hogy a különféle tejtermékek mennyi tejszárazanyagot, ebben pedig mennyi teljes tejpórt tartalmaznak. A fagyasztott tejtermékeknek legalább 10% zsírt és 20% szárazanyagot kellene tartalmazniuk. Ezen belül a hamisítás vizsgálatakor meg kell határozni, hogy a mintában milyen mértékű a savófehérje és a kazein aránya. Erre a célra – például jégkrémek fehérjetartalmának meghatározására az ún. festékkötéses módszerek alkalmasak, de a hagyományos Kjeldahl-módszerhez képest némiképp eltérő eredményt adnak. A kazeint azért nehéz különválasztani a savófehérjétől, mert a különféle hőkezelési eljárásokat követően együtt csapódnak ki, emiatt gyakorlatilag elválaszthatatlanok [39].

Ahhoz, hogy ezt a két fehérjét meghatározhassuk, vagy szét kell roncsolni az általuk képzett komplexet, vagy egyéb megoldást – például a foszfortartalom alapján történő becslést – kell alkalmazni. Mivel a foszfor csak a kazeinhez kapcsolódik, a foszfor-nitrogén arány alapján a kazein mennyisége még a jégkréméhez hasonló összetett mátrix esetén is megbecsülhetővé válik [66]. A kazein és a savófehérje mennyiségének a becslésére ezen kívül alkalmazható még a radiális immunodiffúzió. A kazein mennyiségének foszfortartalom alapján történő meghatározása jól használható a nátrium-kazeinát és a feldolgozott tejtermékek esetében egyaránt [67]. A savópor, az írópor vagy a kazeinát főlőzött tejhez történő hozzáadása a cisztein-cisztin (S-S)-komplex, valamint a szialinsav segítségével mutatható ki. A cisztein- és a cisztintartalom módosított ninhidrin reakció alapján, vagy ioncserés oszlopkromatográfiával mérhető. Az SH-csoportok mennyisége a normál sovány tejporban átlagosan 86,4 µg/g fehérje, amely savó- vagy savófehérje-hozzáadásra lineáris emelkedést mutat. 10% savófehérje soványtejporhoz történő hozzáadása szignifikáns mértékben növeli meg az SH-csoportok koncentrációját, ezért ezzel a módszerrel a hozzáadott savó vagy savófehérje mennyisége könnyedén meghatározható. Amennyiben a mintában a cisztein-cisztin arány háromnál nagyobb, a szialinsav mennyisége pedig meghaladja a 3%-ot, akkor a savófehérje-kiegészítés ténye bizonyítottan tekinthető. Lehetőség van HPLC és a gélelektroforézis alkalmazására is, ám ezek jóval drágább technikák [39].

A hozzáadott savófehérje mennyisége aminosav-összetétel alapján is meghatározható, amennyiben az eléri vagy meghaladja a 10%-ot. Ezt a módszert nem befolyásolja, hogy denaturált vagy nem denaturált savófehérjéről van-e szó, illetve hogy történt-e hőkezelés, avagy sem. Kutatók próbálkoztak a glikomakropeptidok folyadékromatográfiás, vagy spektrofotometriás meghatározásával is, de a bakteriális szennyeződés miatt számos hibás eredmény született. Kedvező eredményeket értek el azonban a renninrel keletkezett savópor édes íróporhoz történő keverésének a kimutatásával. A vizsgálati eredmények savóporok vizsgálata esetén voltak a legmegbízhatóbbak [68].

A felsorolt vizsgálati módszereket összehasonlítva megállapítható, hogy a HPLC-módszer mind megbízhatóságban, mind érzékenységben felülmúlja az összes többi, segítségével pedig a fehérjefrakciók analízise alapján már 0,5% édes savópor adott tejtermékhez történő hozzákeverése is kimutatható [69].

A sajtgyártás során keletkezett édes savópor a tejben is előforduló vízoldható molekulákból jóval többet tartalmaz, ezért magasabb a laktóz-, a nátrium-, a kálium- és a kloridtartalma. Ennek következtében a tejből készített tej fagyáspontja lényegesen alacsonyabb lesz, ha ahhoz savóport adtak. A fagyáspont csökkenéséből regressziós egyenletek alkalmazásának a segítségével meghatározható a hozzáadott savópor mennyisége.

Vannak egyéb ismert módszerek is a hozzáadott savópor meghatározására, ezek azonban bonyolult előkészítési műveleteket igényelnek, ezért nem terjedtek el a gyakorlatban. A Fourier-tanszformációval kombinált infravörös spektroszkópia alkalmas lehet a fehérjék megkülönböztetésére [70].

4.5.2. Tejből előállított (helyreállított, újraalkotott) tej

A tejből előállítás során a fehérjék egy része denaturálódik, ami felhasználható az újraalkotott tej kimutatására. A normál és az újraalkotott tej között sem a festékkötéses módszer, sem a gélelektroforézis segítségével nem sikerült különbséget kimutatni. A β -kazein és az α -laktalbumin aránya alapján azonban 25% újraalkotott tej normál tejhez történő keverése kimutatható [71].

A szakemberek elektronmikroszkópos vizsgálat során megállapították, hogy az újraalkotott tej olyan, 500 nm-nél nagyobb átmérőjű aggregátumokat tartalmaz, amelyek a normál tejben nem fordulnak elő [72]. Doerr és munkatársai rezaurin hozzáadásával is kísérleteztek, amely a tej összes redukáló kapacitása révén eltérő szint ad a két tejtípus esetében. Feltevézésük szerint még ha a sűrűség és a fagyáspont meg is felel az várható értéknek, az újraalkotott tejek nitráttartalma az alkalmazott hígítóvíz nitráttartalma miatt nagyobb lesz, mint a normál tejé, hiszen annak nitráttartalma rendkívül alacsony. Amennyiben a nitráttartalom átlagosan 1 mg/kg-mal nagyobb, mint általában a tejké, akkor valószínű, hogy a tej újraalkotott tejet is tartalmaz. A meghatározás során a nitrátot nitritté konvertálják, amely kemilumineszcens-eljárás segítségével a vizsgálathoz kellő pontossággal mérhető [73].

4.5.3. A tej- és tejtermék-hamisítás egyéb lehetőségei

Amennyiben a tej mangántartalma magas, úgy borjútáppal történő hamisításra gyanakodhatunk, ugyanis annak mangántartalma elérheti a 10-15 mg/kg-ot is, míg a tejé átlagosan csak 0,021 mg/kg körüli érték [74]. A tiszta tej növényi fehérjéket tartalmazó tejjel történő kiegészítése a

benne lévő kazein kicsapátása után a savófehérje nitrogéntartalmának a mérésével mutatható ki.

A nyers tej pasztörözött tejhez történő keverése a foszfatáz enzim aktivitásának a mérésével mutatható ki [75], míg a mozzarella sajt valóságát szkennelg elektronmikroszkóppal vagy szkennelg kaloriméterrel ellenőrizhető, ugyanis a hamisítványokban olyan zsírgolyócskák találhatóak, amelyek az eredeti sajtokban nincsenek [76].

Glükózt, nádcukrot, karbamidot vagy ammónium-szulfátot azért adnak a tejhez, hogy a vízzel való hígítás tényét elfedjék. Ezekkel az anyagokkal még a fagyáspont-növekedés is megakadályozható, a család leleplezésére tehát kifinomult analitikai módszerekre van szükség. A tejhez hozzáadott cukrot a tejben eredetileg is jelenlévő tejcukor miatt csak elválasztástechnikai módszerekkel, elsősorban folyadékkromatográfiás elválasztás útján lehet kimutatni; ebben az esetben a kutatók nem a cukrok összes mennyiségét, hanem a cukrokat egyenként határozzák meg. A cukrokat invertáz enzimmel hidrolizálva a keletkezett glükózt és fruktózt pedig enzimatikusan, glükóz oxidáz-peroxidáz testtel működő gyorsmódszerrel lehet meghatározni [61].

A konyhasó tejhez történő hozzáadása 0,4%-ig nem okoz ízváltozást, ezzel egy időben azonban 13% víz is adható a tejhez anélkül, hogy annak fagyáspontja lényegesen megváltozna. A hamisítók a savasság csökkentése érdekében olykor ammóniaoldatot, esetenként nátrium-bikarbonátot vagy antibiotikumokat is kevernek a tejhez azért, hogy hosszabb ideig eltartható legyen. 0,3% nátrium-bikarbonát hozzáadása a tejhez lehetővé teszi annak 10%-os vízzel történő hígítását anélkül, hogy a mérhető paraméterekben jelentős változás következne be [77].

4.5.4. Egyéb zsiradékok a tejben, a vajban és a gheeben (tradicionális indiai vajféleségekben)

Mivel a zsiradékok közül a tejszír az egyik legdrágább, annak hamisítása egyéb olcsó zsírokkal a világon szinte mindenhol előfordul. Hamisításra a leggyakrabban növényi olajokat, ezeken belül is a lenmagolajat, valamint a marhafaggyút használják a legnagyobb arányban. Sok országban a szakemberek különféle módszereket dolgoztak ki a vaj hamisításának felderítésére. A módszerek többsége a trigliceridek szerkezetének megállapításán, a zsírsavösszetétel elemzésén, az el nem szappanosítható lipidek mérésén (szterinek, szterin észterek, tokofeolok, karbonil vegyületek), illetve a különböző fizikai tulajdonságok elemzésén alapul [78].

A hamisítás felderítésére a legígéretesebb módszer alapja a trigliceridek elemzése; ennek során a különböző szénatomszámú triglicereidek segítségével a tejszír jól elkülöníthetővé válik a többi zsírtól, és már 5-10% idegen zsír hozzáadása nagy biztonsággal kimutatható. A kutatók különféle képleteket dolgoztak

ki annak érdekében, hogy ne csak a hamisítás tényét tudják feltárni, hanem azt is, hogy milyen típusú zsíradékkal hamisították az adott tejszírt. Ezek a módszerek azon alapulnak, hogy csak a tejszír tartalmaz vaj-savat, kapronsavat, kaprilsavat és kaprinsavat, ezért a többi zsíradékhoz képest jóval nagyobb koncentrációban fordulnak elő benne kisebb szénatomszámú trigliceridek [79].

Az így kapott eredményeket azonban célszerű óvatosan kezelni, mert nemcsak a zsírsavösszetétel, hanem a trigliceridek összetétele is változhat az évszak, a régió és a laktációs állapot szerint. A téli tej például több rövid és közepes szénláncú trigliceridet tartalmaz, mint a nyári tej. A növényi olajok tejszírből történő kimutatására az ultraibolya fény-abszorpció nem hozott sikert, a vajsav koncentrációjának mérése azonban igen, csakúgy, mint a kapilláris oszlopon történő gázkromatográfiás elválasztással történő mérés, amelynek segítségével nemcsak a zsírsavakat, de a különböző helyzeti izomereket (cisz, transz, cisz-transz, cisz-cisz, transz-transz stb.) is meg lehet határozni. Ez utóbbiak azonosítására jó hatásfokkal alkalmazták az infravörös spektroszkópiát is [80].

Parodi és Dunstan a transz-telítetlen zsírsavak infravörös spektroszkópiájának a segítségével 0-30% vajhoz kevert gyapotmagolajat ki tudtak mutatni. A transz-telítetlen zsírsavak természetes módon fordulnak elő a tejszírből, de nem található meg a természetes állapotú, nem hidrogénezett (katalitikus hidrogénezés) növényi olajokban, ezért a transz-telítetlen zsírsavak koncentrációjának a mérése is lehetőséget ad a vaj hamisításának a kimutatására. A kapott eredményeket itt is óvatosan kell kezelni, mert a transz-zsírsavak mennyiségét befolyásolhatja a takarmány transz-zsírsav tartalma és a marha bendőjében lejátszódó biohidrogénezési folyamatok is [81]. A bendőben lévő mikroorganizmusok képesek a telítetlen zsírsavakat telíteni, a cisz-izomerekből transz-izomereket szintetizálni, sőt képesek az izolált kettős kötésekben konjugált kettős kötések előállítására, amelynek eredményeképpen létrejön az ember számára rendkívül hasznosnak tekintett cisz9, transz11 konjugált linolsav (és ezek egyéb helyzeti izomerei [82]).

A tiszta, hamisítatlan tejszír különböző indexeit a szakemberek a minősítés során a zsírsavak segítségével határozzák meg. A hamisított minta zsírsavösszetételét összehasonlítva a tiszta minta összetételével a hamisítás bizonyítható, sőt a kutatók arról is információt szerezhetnek, hogy milyen anyaggal történt az adott vaj hamisítása. Japán kutatók a vajsavat, a kapronsavat, valamint a koleszterint gázkromatográfiás módszerrel határozták meg, majd a kapott adatokból következtettek a hamisításra. A vajsav-kapronsav aránya alapján a hamisítást abban az esetben is képesek voltak kimutatni, ha vajsavval átészterezett marhafaggyút vagy kókuszszírt adnak a vajhoz, és a hamisítás kimutatására korábban felhasználták a szitoszterol tartalmat is [83].

Bár az évszaki és az égtáji különbségek lényegesek lehetnek a tejszír összetételét illetően, ezek mégis szinte elhanyagolhatóvá válnak, ha a vaj és annak hamisítására használt egyéb zsírok és olajok zsírsavösszetételét és koleszterintartalmát hasonlítjuk össze [78]. Különösen jól hasznosítható a vaj hamisításának kimutatására a laurinsav-kaprinsav, a mirisztinsav-kapronsav és a mirisztinsav-laurinsav arányának meghatározása. A vaj hamisítására az alább felsorolt olajokat és zsírokat használják rendszeresen:

Növényi zsírok. A tejszír zsírsavösszetétele, monoglicerid- és triglicerid tartalma annyira különbözik a többi zsíradékétól, hogy ezen komponensek mérése alapján nemcsak a növényi, de az állati zsíradékkal történő hamisítás is kimutatható [84]. Tekintettel a fajták közötti különbségekre, a klimatikus viszonyokra és a földrajzi elhelyezkedésre, a laurinsav-kaprinsav aránya alapján a vajzsírban a növényi zsírok nagy biztonsággal kimutathatók. A tejszírhoz kevert 10% kókuszszír, pálma- vagy repceolaj, illetve 5% szójaolaj a hosszú és a közepes szénláncú trigliceridek, valamint a szterinek alapján könnyedén kimutatható [78].

A részlegesen hidrogénezett növényi zsírok a sajtból gázkromatográfiás elválasztással a zsírsavösszetétel alapján mutathatók ki. A zsírsavakból képzett indexek közül a vajsav-olajsav aránya a legérzékenyebb a hamisításra, mert a növényi olajok sok olajsavat, de gyakorlatilag semennyi vajsavat nem tartalmaznak. Ez a módszer nem alkalmazható a kókuszszír esetében, ami viszonylag kevés olajsavat tartalmaz [85].

A ghee vaját az Indiában termesztett phulwara fa gyümölcséből készült növényi zsírral is hamisítják, mert annak színe és állaga nagyon hasonlít a ghee-éhez, az ára viszont lényegesen olcsóbb. Mennyisége a trigliceridek vékonyréteg kromatográfiás analízisével mérhető. Mivel növényi zsíradékról van szó, a hamisítás a koleszterintartalom segítségével is kimutatható. A koleszterin, illetve a fitoszterin mennyiségének a mérése bármilyen növényi eredetű zsíradék kimutatására alkalmas lehet, mert a vaj szterintartalmának döntő többsége (több, mint 99%-a) koleszterin; más típusú szterol vegyület kimutatható mennyiségben nem is fordul elő benne. A gyapotmag-olaj főként β -szitoszterolt tartalmaz [83], de van még benne γ -szitoszterol és sztigmaszterol is, ezért a növényi olajjal való hamisítást a hamisított élelmiszerben egyértelműen jelzi a koleszterin koncentrációjának csökkenése, illetve a növényi szterinek koncentrációjának a növekedése [86]. A módszert a zsírok finomítása, szagtalanítása, gőzölése nem befolyásolja, a hasonló koleszterintartalmú állati eredetű zsíradékok azonban ezzel a módszerrel nem mutathatók ki a tejszírből. 2%-nál több kukorica- vagy rizsolaj, 5%-nál több kakaóvaj, repce-, szezám-, szójabab-, len- vagy mogyoróolaj, 20%-nál több kókuszszír vagy pálmaolaj, illetve 35%-nál több pálmamag-olaj a fenti módszer segítségével könnyedén kimutatható a vajból. Garcia és mtsai [80] a MALDI-QTOF MS technikát megfelelő hatásfokkal tudták a tejpör növé-

nyi olajokkal, illetve zsírokkal történő hamisításának a kimutatására felhasználni.

A hamisítás kimutatásának az alapját képezheti az a tény is, miszerint az összes szénhidrogén és szterol el nem szappanosítható frakcióban jelenlévő aránya egészen eltérő a szalonnában, a margarinban és ghee-ben egyaránt. A szalonna és a margarin 20-30-szor annyi szénhidrogént tartalmaz, mint a szarvasmarha ghee, és 10-15-ször annyit, mint a bivalytejből készült ghee. Fentiek alapján a szerkesztett regressziós egyenletek segítségével a ghee-hez kevert disznózsír, illetve margarin nagy biztonsággal kimutatható [87].

A különféle növényi olajokban olyan vegyületek is találhatóak, amelyek csak az adott olajféleségben vannak jelen, másban nem. Ilyen például a szezámmag-olajban lévő szesamin és szesamol, amelyek kimutatása – a magas tokoferol-tartalommal együtt – egyértelműen hamisításra utaló tényezők. Kimutatható a hamisítás továbbá a differenciál szkenning kalorimetria és a differenciál termál analízisek segítségével is, ezek a módszerek azonban nem terjedtek el a gyakorlatban. A megkülönböztetésre, valamint a hamisítás kimutatására az alkoholban oldódó és az alkoholban nem oldódó triglicerid-tartalom is alkalmas [88].

Állati és tengeri eredetű zsírok. Az állati testzsírok vajban történő kimutatása azért nehéz, mert ezek nagyon sok tulajdonság tekintetében megegyeznek egymással. Sőt, ezen a tényen átlépve megállapítható az is, hogy amennyiben a bivalyokat gyapotmag-pogácsával takarmányozzák, akkor azok tejszíre ahhoz lesz hasonló, mintha a vaját állati zsíradékkal hamisították volna. Mivel az állati eredetű zsíradékot nehéz kimutatni a tejszíreben, ezért ebből a célból a szakemberek többféle módszert is kidolgoztak és (több-kevesebb sikerrel) alkalmaztak [89].

Kutatók ecetsav-etilalkohol 3:4 arányú elegyében az alábbi technikákkal vizsgálták a vajzsír és az állati zsíradék különböző oldhatóságát: „vajsav-szám” mérése; az olvadás kritikus hőmérsékletének elemzése (ghee 49,5-53,5 °C között, faggyú 70-73 °C között); a karbamid által kicsapott és ki nem csapott zsírtartalom mérése; fluoreszcencia, amelynek során a hamisított ghee kék fluoreszcenciát, míg az eredeti hamisítatlan halvány zöldet mutatott; különféle kromatográfiai technikákkal főként a triglicerideket, vagy valamilyen frakciót, de legtöbbször a zsírsavösszetételt határozták meg, amelynek alapján – indexek képzésével – a vajhoz kevert különböző zsíradékokat tudták becsülni [84, 89].

Az alkalmazhatóság szempontjából ezen indexek közül kiemelkedik a sztearinsav-olajsav arány, az összes telített és az összes telítetlen zsírsavak aránya, a palmitinsav-sztearinsav arány, valamint a telített és a telítetlen trigliceridek aránya [90]. Szakértők enzimatikus módszerrel, nevezetesen a lipáz enzim alkal-

mazása után visszamaradt szabad zsírsavak analízisével, illetve a 2-monoacil-glicerol meghatározásával is próbálkoztak, amely szerint a rövid szénláncú zsírsavak a trigliceridekben kevésbé állnak ellen a lipáz támadásának, mint a hosszú szénláncúak [91]. Az UV-spektrum-elemzés segítségével a 220-420 nm tartományban a vaj és disznózsír elkülöníthető egymástól, míg a vaj és a faggyú nem [92].

Kromatográfiai elválasztást követően az eltérő fluoreszcens jel alapján könnyű a halolaj vajtól történő elkülönítése. Az illó zsírsavak desztillálása és kromatográfiai meghatározása segítségével 5-20% delfinolajat könnyű volt elválasztani és megkülönböztetni a vajtól [93]. A vaj triacetinnel vagy hidrogénezett delfinolajjal történő hamisítását az illó desztillátum vezetőképességének a mérésével lehetett kimutatni, a tiszta vaj vezetőképessége ugyanis kisebb, mint a hamisítotté, ami a delfinolajban megtalálható nagyobb koncentrációjú ecetsavnak és izovaleriánsavnak köszönhető [94].

A vaj akkor is hamisított terméknek tekintendő, ha különböző állatfajok tejből készül, vagy ha magát a tejszírt módosítják valamilyen technológiai beavatkozással. Ha különböző kérődző állatfajok összekevert tejből állítanak elő vajat, akkor azt szinte lehetetlen kimutatni, mert még a gázkromatográfiai zsírsavanalízis sem elég érzékeny ahhoz, hogy a hamisítványt megkülönböztesse a valódi tejterméktől. Indiában nagy mennyiségben használnak fel hidrogénezett növényi olajokat, amelyek segítségével nagy arányban a ghee-t hamisítják. Mivel a hidrogénezés fokma már jól szabályozható, az ilyen jellegű hamisítást még az érzékeny gázkromatográfiai módszerekkel is nehéz kimutatni [95].

4.5.5. A tej vizezése és annak kimutatása

A tej vizezése könnyen kimutatható a fagyáspont meghatározása alapján, a víz hatására ugyanis tej eredeti fagyáspontja megnövekszik. Fagyáspont alapján termisztoros kriozkóp segítségével 3% tejhez hozzáadott víz nagy biztonsággal kimutatható [96].

A tej fagyáspontja ezredfok pontossággal megállapítható Beckmann-kriozkóp segítségével. A tej fagyáspontja -0,53 – -0,56 °C között változik. Ha a vizsgált tej fagyáspontja -0,53 °C-nál nagyobb, akkor azt vízzel hamisították. Amennyiben a tej fagyáspontja -0,53 °C-ról -0,27 °C-ra nő, a hígítás mértéke 2-50 % közöttire tehető, ezzel a módszerrel tehát nemcsak a hamisítás ténye mutatható ki, hanem a hozzáadott víz mennyiségére is kapunk adatot [97].

A tej ozmózisnyomása elsősorban a laktóznak (4,6-4,9% a tehéntejben), másodsorban pedig a nátrium- és a kálium ionoknak, ezt követően pedig az összes többi ásványi anyagnak köszönhető, mert az egyéb komponensek ozmózisnyomásra kifejtett hatása elhanyagolható. A laktóz hidrolízise glükózra és galak-

tőzra jelentős mértékben csökkenti a fagyáspontot (-0,274 °C-kal), és növelni az ozmózisnyomást. Ezért ha a laktózt hidrolizálják, a tej mérsékelt mennyiségű vízzel való hamisítása, mivel a fagyáspont nem változik, nem mutatható ki [98].

A tej vezettségének kimutatására használták még a felületi feszültség és a viszkozitásmérést, a tripszines emésztés és triklórecetsavas kicsapás után visszamaradt szűrlet abszorbanciájának mérését 280 nm hullámhosszon, és a nitrát ionok analízisét, mely egyértelmű jele a hígításnak. Az ultracentrifugálás után visszamaradó szűrlet refraktometriás analízise jól használható az anyatej vezettségének kimutatására. Használták még a termisztor krioszópot, vagy a gőznyomás termométert is a vizezés kimutatására, ezek a módszerek azonban nem terjedtek el a gyakorlatban [98].

4.6. Tej és tejtermékek hőkezeltiségének meghatározása

A tejet, a benne lévő esetlegesen patogén mikroorganizmusok miatt, hőkezelní kell. A tejparban szinte minden tej és tejtermék valamilyen hőkezelésen megy át, és csak a hagyományos tejtermékek jelentéktelen hányadát készítik nyers tejből. A hőkezelés néha nem elégséges a patogén csírák elpusztítására, néha pedig – technológiai hiányosságból vagy szándékosan – nyers tejet kevernek a pasztőrözött tejhez, amelyet az alábbiakban felsorolt próbákkal lehet kimutatni, illetve a hőkezelt tejhez kevert nyerstej mennyiségét megbecsülni [98].

A Storch-féle próba a 80 °C feletti vagy a 75 °C hőmérsékleten 15 percnél hosszabb ideig hőkezelt tej vagy ilyen tejből készült tejszín, savanyú tej és tejkészítmények, tehát túró, gomolya esetében alkalmazható. A módszer lényege az, hogy a nyers vagy nem megfelelően hőkezelt tejben, vagy az ilyen tejből készült termékben lévő peroxidáz enzim a hidrogén-peroxidot bontja, és a felszabaduló atomos oxigén az N,N-dietil-1,4-fenilén-diamin-hidrokloridot szürke, kékeszürke színű vegyületté oxidálja [99].

A foszfatáz enzim mennyiségi meghatározása a 80 °C alatti, vagy a 75 °C feletti hőmérsékleten 35 másodpercnél rövidebb időtartamig, illetve a 65 °C-on 30 percig hőkezelt tej, valamint az ilyen tejből készült tejtermék esetén alkalmazható [100]. A nyers, vagy elégtelenül hőkezelt tejben, vagy nyerstejjel kevert pasztőrözött tejben vagy ilyen tejből készült termékben a foszfatáz enzim a dinátrium-fenil-foszfátot hidrolizálja, a hidrolízis során felszabaduló fenol a 2,6-dibrómkinon-klórímiddel kék színeződést ad, amely a szabad fenol mennyiségével arányos, és fotometriásan mérhető [101].

Nyers vagy elégtelenül hőkezelt tejben vagy nyers tejjel kevert hőkezelt tejben vagy az ebből készült tejtermékben lévő foszfatáz enzim a hidrogén-orto-krezolftalein foszfátból orto-krezolftaleint szabadít fel, amely bázikus pH mellett lila-bíbor színeződést ad.

A szín jelzi, hogy a mintából foszfatáz enzim mutatható ki, és a minta a kívánt hőkezeltiséget nem kapta meg [101].

4.7. A gyulladással tőgyből származó, kóros összetételű tej kimutatása

E célra alkalmasak a masztiteszt-próba és a Whiteside-próba, melyek a tejben lévő magvas sejtek (hámsejtek, leukociták) mennyiségi viszonyait jelzik, ugyanis a reagens hatására a sejtanyagban lévő dezoxiribonukleinsav felszabadul, és ennek a nyálkás konzisztenciájú anyagnak a mennyiségétől függ a reakció mértéke [102]. Az ellést követő három-öt napon belül, valamint a laktáció utolsó hónapjában nagyobb a tej hámsejt tartalma, ezért az ilyenkor pozitív reakció nem utal a tőgybetegségre. A két próbát diagnosztikai célokra nem lehet felhasználni, a tehenállomány tejének vizsgálata viszont előnyös lehet olyan szempontból, hogy az elegytejből már az enyhe reakció is jelzi a tőgygyulladást, a nem megfelelő tőgyegészségügyi helyzetet [103].

4.8. A fogyasztásra alkalmatlan, romlott tej mennyiségének kimutatása

E célra alkalmas az alizarin teszt, mely a tej savtartalma, illetve pH-ja megváltozásának kimutatásán alapszik. A tesztet alkalmazni lehet az istállóban a gyulladással tőgyből történő tej elkülönítésére, de alkalmas a szállítás vagy a tárolás során bekövetkező változások nyomon követésére is. Mivel a tejben lévő fehérjék a savtartalom-növekedés hatására elveszítik eredeti formájukat, ezért a pH-változás azt is jelezheti, hogy a tej alkalmas-e olyan tejtermékek gyártására, mint például az UHT tej, vagy a tejpor. Az alizarin-indikátor és a tej reakciójából következtethetünk arra, hogy a tej pH-ja savas vagy lúgos irányba változott-e, és hogy a változás hogyan befolyásolja a tej technológiai tulajdonságait [101, 104].

5. Megbeszélés

A médiában napi szinten találkozhatunk élelmiszer-hamisítással kapcsolatos hírekkel. Szinte nem is létezik olyan élelmiszer, amelynek hamisításával még ne próbálkoztak volna. Az esetek többségében a hamisítók mindig egy lépéssel az őket leleplezők előtt járnak. A hamisítás sokféle kifinomult módja ellen csak úgy küzdhetünk, ha a világon mindenhol hamisítás elleni szervezetek alakulnak, hamisítás elleni nemzeti stratégiákat dolgoznak ki, ha a hamisítás felderítésére hatóságok intézkedések lépnek életbe, és ellenük szigorú szankciókat vezetnek be, a hatóságok pedig a felderített eseteknél szankcionálják a hamisításért felelős élelmiszergyártókat, -forgalmazókat. A dolgozatunkban vázlatosan ismertetett módszerek mellett szükséges továbbá a hamisítás elleni nemzetközi összefogás, a stratégiák, intézkedések összehangolása, és a rendszeresen ismétlődő ellenőrzési akciók.

A hamisítások az esetek többségében csak az élelmiszerek érzékszervi, összetételi jellemzőit rontják, ezért a médiában általában nem is kapnak megfelelő figyelmet, pedig a hamisítások eredménye olykor életveszélyes, sőt akár halálos kimenetelű is lehet (például a csecsemőtápszer melaminnal történő hamisítása).

A hamisítás célja szinte minden esetben a jogtalan pénzügyi haszonszerzés. A hamisítókat nem érdekli – és sokszor nincsenek is tisztában azzal –, hogy milyen következményekkel járhat a termékeik elfogyasztása, egyedüli céljuk a minél nagyobb profit elérése. A hamis összetevők gyakran ismeretlenek, ezért detektálásuk gyakran nagyon nehéz.

Írásunk második részében, a tej és a tejtermékek hamisítása kapcsán bemutattuk, hogy a hamisítók hiába járnak mindig egy lépéssel az ellenőrzést végző szakemberek előtt, az analitikai kémia és az élelmiszeraanalítika fejlődésével folyamatos azoknak a módszereknek a kidolgozása, amelyekkel a hamisítás tényre felderíthető. Írásunkkal az élelmiszerhamisításra, a hamisítás elleni küzdelemre, a tudatos vásárlásra, és a fogyasztók rossz minőségű élelmiszerektől, hamisítványoktól történő megóvására szándékoztunk felhívni a figyelmet.

Az élelmiszer hamisítással kapcsolatban befejezésül álljon itt egy részlet Hamvas Béla „A rántottleves” című esszéjéből:

„A bűncselekmények között kétségtelenül legsúlyosabb az élelmiszerhamisítás. Ebben bizonyos tekintetben együtt van az árusítás, a káromlás, a mérgezés, a csalás, a hazugság, mindez alattomosan és elrejtve; gyűlöletes nyereségvágyból visszaél azzal, hogyha az ember megéhezik, ennie kell. Akármilyen rettenetes, de úgy van, ahogy DOSZTOJEVSZKIJ mondja: rugdaljatok, püföljetek, alázzatok meg, köpdössetek le, csak adjatok enni, enni. Az étel hazugságnál csak egy még súlyosabb van, a hamis próféta, amely az embert hazug gondolatokkal mérgezi meg. A nemes és valódi kenyeret már csaknem elvesztettük. Alig van ennél nagyobb hiány, s ezért ennél mélyebb fájdalom. A rántottleves olyan egyszerű és szerény, hogy azt hamisítani még senkinek sem jutott eszébe. Talán azért is, mert olyan olcsó, és nem érdemes. Helyzetünk mindenestre nem reménytelen, még van Bach zenénk és Palazzo Pittink, van Velázquezünk és Hölderlinünk, a normalitás még nem tűnt el teljesen, amíg van rántottlevesünk, krumplink és főtt rizsünk [106]