



Magyar László

■ Szent István Gimnázium

# A sajtok érlelése és az ismeretek felhasználása a kémia oktatásában

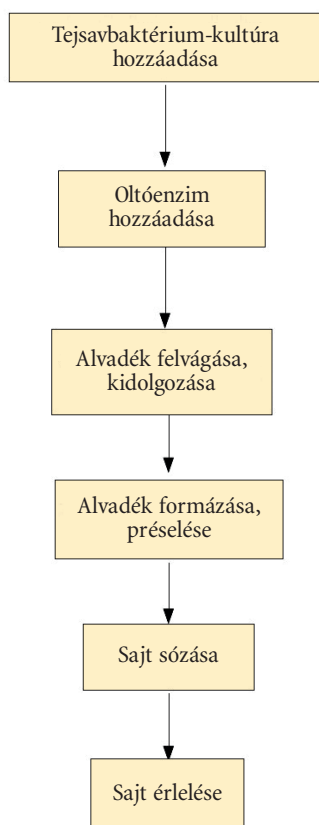


2019 szeptemberében felkérésre előadást tartottam a sajtok éréséről házi és kisüzemi sajtkészítőknek, akik általában nem rendelkeznek felsőfokú élelmiszeripari, kémiai és biológiai ismeretekkel. Az előadásra készülés egyik tanulsága volt, hogy már középiskolás kémiai ismeretekkel milyen jól megérthetők a lejátszódó folyamatok, és ezek ismeretében sokkal tudatosabbá tehető a folyamat szabályozása. Ebben a cikkben a középiskolás szintnél kissé mélyebben tárgyalom a jellemző kémiai, biokémiai folyamatokat. A kifejezetten a sajt készítőknél hasznos tanácsokat kihagyom belőle, a cikk végén teszek egy rövid módszertani kitekintést az ismeretek oktatásban való felhasználására.

## A gyártás folyamatának áttekintése az érlelésig

A sajtok gyártása talán a legösszetettebb élelmiszeripari tevékenység, célja a tej értékes összetevőinek hosszú távon eltarthatóvá tétele a víztartalom csökkentésével. A tej jelentős cukor-, fehérje-, zsír-, vitamin- és ásványianyag-tartalma, valamint semleges közeli kémhatása miatt nagyon romlékony. Szobahőfokon néhány óra alatt elveszíti mikrobiológiai védetségét, és a mikroorganizmusok gyors szaporodásnak indulhatnak. A sajtgyártás legkorábban ekkor kezdődhet.

A gyakorlatban ennyire precíz időzítés sokszor nem lehetséges, ezért a kifejtt tejet azonnal hűtik, hűtve tárolják és hűtve szállítják az üzembe. Ott hűtve tárolják a gyártás kezdetéig, majd annak kezdetén kémlelesen pasztőrözik, beállítják a zsírtartalmát, esetleg, 64–72 °C-on, a fehérjetartalmát és kémhatását is. A megfelelő tárolással mintegy három napig eltolható a gyártás kezdete komoly minőségvesztés nélkül.

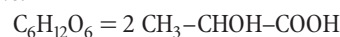


1. ábra. A sajtgyártás folyamatábrája

Először a tejhez tejsavbaktériumokat tartalmazó baktériumkultúrát adnak (1. ábra). A tejsavbaktériumok a tejcukorból tejsavat termelnek. Ennek hatására a tej semlegesközeletű, 6,6–6,7-es pH-ja savassá válik, általában 4,9–5,4 körüli értékre csökken. Ez a sajtot tartósítja, hosszú ideig való biztonságos eltarthatóságához hozzájárul. A csak tejsavat termelő, homofermentatív baktériumok mellett a tejcukorból egyéb vegyületeket előállító, heterofermentatív tejsavbaktériumok is adhatók a tejhez. A heterofermentatív tejsavbaktériumok által termelt vegyületek egy része fontos aro-

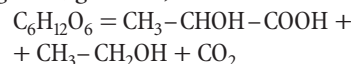
anyag, melyek jellegzetes, karakteresebb ízt adnak a sajtnak. Ilyen anyag például az ecetsav, propionsav, etanol, acetaldehid, diacetil, ami különösen fontos aromaanyag számos sajtféleségben, pl. a svájci Appenzellerben. A heterofermentatív erjedés során szén-dioxid is keletkezhet, ami a sajt lyukazottságát eredményezi, például a Trappista sajt esetén.

*A homofermentatív erjedés reakcióegyenlete:*

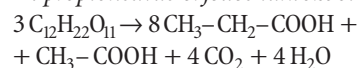


*Példák heterofermentatív erjedésre:*

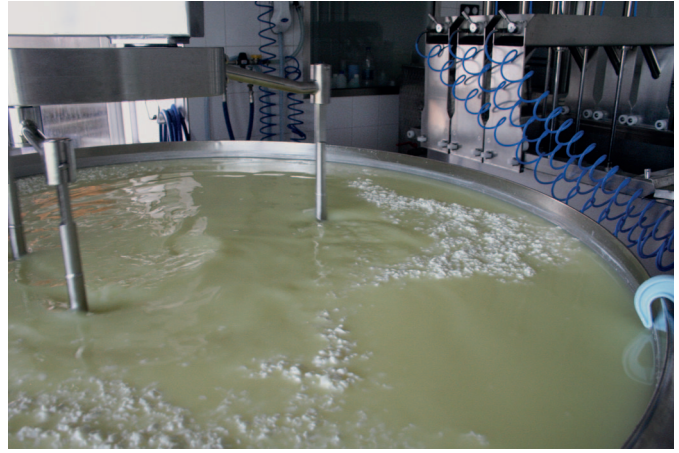
*I. tejsavas és ecetsavas vegyes erjedés szén-dioxid képződése mellett hexózból (glükóz, galaktóz)*



*II. propionsavas erjedés laktózból*



Ha a tejsavbaktériumok kellő mértékben elszaporodtak, a következő lépésben valamilyen oltóenzimet, általában kimoenzint adnak a tejhez. A kultúra és az oltóenzim hozzáadása egyszerre is történhet, de a leggyakrabban alkalmazott fagyaszta szárított baktériumkultúrák esetén rendszerint 20 percet várnak, hogy a baktériumok feleledjenek. Ha a baktériumok anyagcseréjének beindulása több időt igényel, a várakozási idő akár 60 perc is lehet. Az oltóenzim a legfontosabb tejfehérje-család, a kazeinek egyik típusából, a kappa-kazeinből lehasít egy poláris aminosav láncot. Ennek hatására a koloidális méretű fehérjehalmazok, a kazeinmicellák töltésük nagy részét és a róluk lelógó szénhidrát-láncokat elvesztik, apolárisabb jellegűvé válnak, az eredetileg 4,6-os izoelektromos pontjuk 6,3-as lesz. Ennek hatására a kazeinmicel-



2. ábra. Az alvadék felvágása (balra) és az ennek hatására bekövetkező savóleadás folyamata

lák közelebb kerülhetnek egymáshoz, a fehérje koagulálódik. Másodlagos kötések alakulhatnak ki, illetve a bennük lévő kalcium-ionok hidat képezhetnek közöttük, ami a tej megalvadását eredményezi, a folyadékból gél lesz.

Az oltóenzim mennyiségét úgy szokták megválasztani, hogy az alvadási idő 25–45 perc legyen. A modern, iparban alkalmazott oltóenzimek, pl. a tevekimoszin már csak alvadást végeznek, igaz nagyobb hatékonysággal, mint a hagyományos oltóenzimek. Az eredetileg használt tehénkimoszin viszont fehérjebontást is végez. Ráadásul szopós állatok esetén az oltógyomorból kivont állati oltó emellett pepszint is tartalmaz, ami szintén fehérjét bontó enzim. A keletkező bomlástermékek fontos aromaanyagok, melyek jelentős mértékben hozzájárulnak a hagyományos állati oltóval készült sajtok aromájához, ezért a legjobb minőségű sajtokat továbbra is ezzel készítik.

Amikor az alvadék kellően megszilárdult, kidolgozzák. Első lépésben az alvadékat felvágják (2. ábra), ezáltal a gélállapotúvá vált tejet átszövő micellahálózatot feldarabolják. Ennek hatására az egyes alvadékrögökben lévő fehérjefonalak elke-

denek összehúzódnak, az alvadékrögökből savó préselődik ki. Ez a folyamat a szinerezis. Az alvadékrögök hamarosan savóban úsznak. Ezt a savó-alvadék elegyet folyamatosan keverni kell, nehogy az alvadékrögök újra összetapadjanak. Ha a kívánt sajtípus esetén szükséges, a savóleadás elősegítésére az elegyet melegíthetjük, legfeljebb kb. 58 °C-ig. A magasabb hőfok 40–45 °C-ig segíti a baktériumok szaporodását, anyagcseréjét is, ami az elegy savanyodását eredményezi. A pH közelít az izoelektromos ponthoz, ez szintén segíti a savóleadást, mivel a fehérjék oldhatósága csökken. A fehérjérögök még jobban összehúzódnak, kipréselve maguk közül a savót. A túl gyors savanyodás viszont nem kívánatos, ekkor a savó egy részének lemerésével és az elegy vízzel való hígításával, úgynevezett alvadékmosással csökkenthető a rendelkezésre álló tejcukor mennyisége, ezáltal lassítható a savanyodás folyamata.

Ha az alvadék víztartalma kellő mértékben lecsökkent, kellően szilárdvá vált, akkor következhet a formázás, préselés (3. ábra). A préselést 20 °C felett végezzük. Ekkor a sajt belsejében, a meleg sajttestében a baktériumok anyagcseréje to-

vábbra is gyors. A savanyodás főleg ekkor játszódik le, a préselés végére éri el a sajt a legalacsonyabb pH-t. Az egyre alacsonyabb pH-t a tejsav növekvő mennyisége okozza. A keletkező tejsavmolekulák egy része kalcium-laktátot képez. A kazeinmicellákban lévő kalciumionok egyre jobban oldódnak, a micellák felszíne még inkább apoláris jellegűvé válik, még közelebb kerülhetnek egymáshoz. Ezáltal a szinerezis tovább folytatódik, és a megfelelő présnyomás is segíti a további savóleadást.

Amikor a sajt elérte a kívánt pH-t, következik a sózás. Ez rendszerint alacsony hőfokon, 16 °C alatt történik, ami a mikrobák anyagcsere-folyamatainak lassulását okozza: a tejcukor bomlása, a további savanyodás és ezek következtében a szinerezis is leáll. Emiatt kívánatos, hogy ekkorra a sajtban lévő tejcukor túlnyomórészt lebomoljon, a kívánt pH-értéket ennek megfelelően választjuk meg. A savóleadás azonban folytatódik, mert a sajt felületére került só (porsózásnál) vagy a majdnem telített sóoldat (sólében való sózásnál) hatására ozmózis indul be. A savó kiszivárgása mellett a sajtba só kerül, ami hozzájárul a tartósságához, a megfelelő ízhez, segíti a kéreg kialakulását és gátolja a mikrobák szaporodását a kéreg felületén. A legtöbb sajt esetén kb. 2% sótartalom a megfelelő. Amikor a sózás során ezt elértük, a sajtokat szikkasztjuk.



3. ábra. Nyers sajt a présformába rakás előtt

### Az érés általános jellemzése

A nyers sajt előállításán és az érlelésen egyaránt sok múlik. A kifogástalanul elkészített sajt is elrontható a nem megfelelő érleléssel. Helyes érleléssel a hibásan elkészített sajt minőségén viszont lehet kismértékben javítani. Emiatt az érés során lejátszódó folyamatok megértése és ezek ismeretében az érés megfelelő irányításának az



**4. ábra.**  
Különböző korú sajtok az érlelődésben (a fotókat a szerző készítette a dunaharaszti Paraszti Sajt gazdaság sajtműhelyében, saját sajtgyártás közben)

ismerete nagyon fontos a minőségi sajtgyártás szempontjából, ezért érdemes részletesen foglalkozni vele.

Az érés során látványos változásokat figyelhetünk meg. A sófürdőből kikerülő nyers sajt alacsony víztartalmú gél, kemény, törekeny. Jelentős arányban óriásmolekulákból áll, fehér színű. Az aromaanyagok hiánya miatt eléggé jellegtelen ízű, a felhalmozódott tejsav miatt erősen savanyú, a sózás miatt főleg a kéreg alatt erősen sós. Az elkövetkező hetekben megpuhul, rugalmas lesz, a lágy sajtok túlérve akár el is folyósodhatnak. Színe sárgábbá válik (4. ábra), íze finomodik, gazdagodik. A nyers sajt nagyrészt fehérjéből, zsírból, vízből és benne oldott egyéb anyagokból áll, ezek közül a fehérjék, a zsírok és a kis molekulájú szerves anyagok képesek az érés körülményei között kémiai reakcióban részt venni, az érzékszerveinkkel megfigyelhető változások magyarázatát ezek átalakulásában kell keresni.

## A fehérjebomlás folyamata

A puhulás arra utal, hogy az érés során a gélállapotot kialakító kazeinmicellák közötti kötések fellazulnak, szolállapotba megy át az anyag, ami a fehérjék átalakulását jelzi. A legfontosabb folyamat az érés során a fehérjék átalakulása. A tej saját enzimeji (pl. a plazmin, trombin), egyes tejsavbaktériumok enzimeji, az oltóban lévő enzimek (kimozin, pepszin) és a kérgen megtelepedő mikroorganizmusok egyaránt tartalmaznak különféle fehérjebontó enzimeket.

Proteáz enzimek hatására polipeptidok keletkeznek, amit a peptidázok oligopeptidokká, aminosavakká bonthatnak. A sajt nagyrészt kazein fehérjéből áll, melynek több típusa ismert, ezek az alvadásnál már említett kazeinmicellákat képezik. A micellák belsejében főként az alfa-s<sub>1</sub>-, alfa-s<sub>2</sub>- és béta-kazein található. Kismértékben

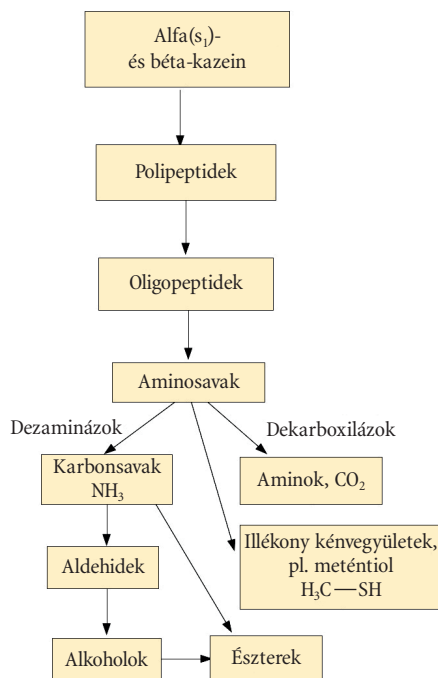
található többféle gamma-kazein is, de ezek a béta-kazein bomlástermékei, így ahhoz hasonlóan viselkednek. A micellák felszínén található az alvadásban fontos szerepet játszó kappa-kazein, melynek szerepét ott részletesen bemutatam. Az egyes kazeintípusok nem mind egyformán bomlanak. Legjobban az alfa-s<sub>1</sub>-kazein bomlik, átalakulása már 6 óra után kimutatható az elsődleges proteolízis során. A másodlagos proteolízis többhetes érlelés során következik be, ekkor az alfa-s<sub>1</sub>-kazein tovább bomlik és a béta-kazein is elkezd darabolódni. Az alfa-s<sub>2</sub>-kazein és a kappa-kazein alig változik.

Az újabb és újabb bomlástermékek miatt az érés során változik a sajtok íze, ugyanannak a sajt típusnak a fiatal és idős változata is jelentősen eltérő ízű lehet. A fiatal sajtokban a lánc közepén hasító endopeptidázok által képzett oligopeptidok egy része keserű ízt eredményez, ami éretlen sajtban természetes lehet. A lánc végén hasító exopeptidázok eredményeként aminosavak termelődnek, ezek nem okoznak keserűséget, így a keserű íz nem minden sajtban jelenik meg az érés kezdetén. A peptidázokat a tejben lévő mikrobák termelik, így a keserű íz megjelenése a tejhez adott és a tejben lévő mikrobáktól függ. Sok szennyező mikroba termel endopeptidázt, így a sajt keserű ízt sok esetben a felhasznált tej szennyezettsége okozza.

A közepesen érett sajtoknál kialakuló ízhatalás a keletkező aminosavaktól függ. Az alanin, glicin, prolin, oxiprolin, szerin édes ízt eredményez. Főleg az ementáli típusú sajtoknál történő propionsavas erjedésnél jellemzők. A keserű ízt az arginin, fenilalanin, hisztidin, valin, triptofán okozhatja. A glutaminsav, aszparaginsav savanyú ízt okoz.

A további érés során az aminosavak bomlanak tovább. Dezaminázok hatására ammónia és különféle karbonsavak keletkezhetnek. A karbonsavak redukciójával al-

dehidek (pl. acetaldehid, propionaldehid), alkoholok jöhetnek létre, melyek szintén aromaanyagok lehetnek. Az alkoholok, különösen az etanol, a karbonsavakkal estereket képezve gyümölcsös ízt eredményezhetnek. Dekarboxilázok révén széndioxid és különféle aminok is termelődnek. A keletkező aminok és az ammónia bázikusságuk miatt a sajt kémhatását az érés során egyre inkább semleges irányba tolják el. Ez segíti a további bomlási folya-



**5. ábra.** A fehérjebomlás folyamatábrája

matokat, a sajt további puhulását. Sok nitrogénvegyület sárgás színű, ami a tehéntej karotintartalma mellett segíti az érett sajtokra jellemző sárga szín kialakulását. A kéntartalmú aminosavakból felszabadulhat kén-hidrogén és létrejöhetnek illékony kénvegyületek, például a metioninból a Cheddar típusú sajtok ízt alkotó metántiol. Az aminosavak bomlástermékei különösen erős ízanyagok, ezért az érettebb sajt mindig erősebb ízű. A fehérjebomlás lépéseit az 5. ábra foglalja össze.

## A fehérjebomlás különféle útjai és hatása a sajtok változatosságára

A különböző érési időszakokban, a jelen lévő enzimektől függően különféle arányban keletkező sok különböző aromaanyag magyarázza, hogy miért van annyiféle ízvilágú sajt.

A gyúrt sajtoknál, amilyen például a Mozzarella vagy a Parenyica, ahol a sózás után a kész sajtot 60 °C feletti hőmérsékleten



megőmlesztik, az oltóenzim és sok más enzim is tönkremegy, nincs másodlagos proteolízis, ezért az ilyen sajtok íze alig változik az idővel.

A tej olvasztására használatosak még növényi és mikrobiológiai eredetű oltóenzimek, például a fűgében lévő ficin. Ezek máshol hasítják a fehérjeláncot, mint a kimozin és a pepszin, ami másfajta bomlástermékeket eredményez. Ezeknél gyakran kellemetlen ízű bomlástermék is keletkezhet, emiatt nem minden sajttípusnál alkalmazható, de van, amelyik csak ilyen oltóenzimmal éri el a rá jellemző ízvilágot.

A tej sajt enzimeinek és az oltóenzimeknek főleg az érés elején van fontos szerepe. A fő- és utóérés során már a mikrobák enzimeit végzik a további lebontást. A természetes módon jelen lévő és a hozzáadott savanyító és aromaképző baktériumok enzimeit azután is dolgoznak, hogy a baktérium elpusztult. Sőt ekkor válik igazán jelentőssé a működésük a sajt érés szempontjából. Az élő sejtben a fehérjebontó proteázok eredetileg a sejtfalban aktívak és a keletkező oligopeptidek a sejtbe jutnak, ahol a peptidázok tovább bontják őket, de az így keletkező aromaanyagként viselkedő bomlástermékeket a baktérium fel is használja. A baktérium pusztulásakor ezek az enzimek kiszabadulnak és sajt anyagában katalizálnak reakciókat, az ekkor termelődő aromaanyagok megmaradnak. Egy hónap alatt a hozzáadott baktériumok mennyisége általában a tizedére csökken, de fajtától is függ a folyamat sebessége. Ha a baktériumok pusztulása gyorsabb, mint például a magasabb (45–60 °C körüli) hőmérsékletet is elviselő termotoleráns (a sajtgyártók körében inkább termofilnek nevezett) baktériumkultúráknál, akkor előbb szabadulnak ki az enzimek, ilyen például a jó fehérjebontó tulajdonságú *Lactobacillus helveticus*. Ekkor gyorsabban tud érni a sajt, ez is szempont lehet a baktériumkultúra választásánál.

A természetes módon jelen lévő baktériumok viszont három hónap után érik el maximális számukat, és sokáig életben maradnak, ezért hosszú érlelési idő esetén fontos a szerepük. Így tud előjönni a hosszabb érlelésű sajtoknál a helyi ízvilág, a gasztronómia nyelvén a terroir jelleg. Ám sok esetben a természetes módon jelen lévő baktériumok viszont gyakran kellemetlen ízanyagokat képeznek, ezért nem mindig, milyen a kiindulási tej tisztasága.

A sajtok felszínén az érés szempontjából előnyös élesztőgombák, penészgombák, baktériumok telepedhetnek meg, vagy gyakran tudatosan telepítenek rá ilyen élő-

lényeket, ezek alkotják a kéregkultúrát. Enzimeik intenzív fehérjebontásra képesek, ráadásul ezeket az enzimeket a gombák le is adják a környezetükbe, mivel a leadott, extracelluláris enzimek által készített bomlástermékeket szívják fel. Legjobban a penészgombák képesek aminosav-lebontásra, ezekben a sajtokban hamar sok, vízben oldható nitrogénvegyület keletkezik. A penészgombákat elsősorban nagy víztartalmú, lágy sajtok érlelésére használják, melyek a kéregkultúrának köszönhetően kívülről befelé érnek. Az így érlelt lágy sajtok emiatt tudnak a kéreg felől kiindulva gyorsan elfolyósodni, túlélni, ami a tárolási idejüket korlátozza. Ezt úgy tudjuk megakadályozni, hogy az optimális érettségi állapotnál a 15 °C körül érlelt sajtot fagyáspont közelébe hűtjük, mert az enzimek működése a hőmérséklet csökkenésével rendszerint erősen csökken. De fagyasztani a sajtokat nem érdemes és nem is szokás: kiengedéskor az elpusztult mikrobákból kiszabaduló enzimek miatt túl gyors érésnek indulnak, emiatt ízviláguk nem kívánt irányba tolódhat.

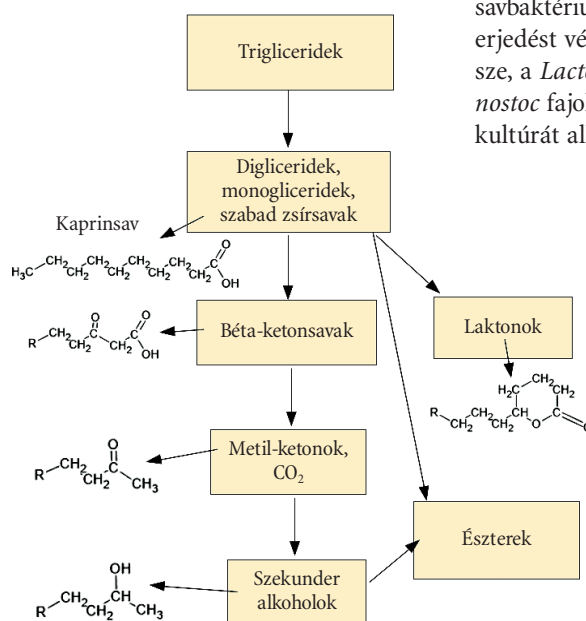
A kemény sajtok teljes terjedelmükben egyformán érnek, lassan kapunk kis molekulatömegű bomlásterméket, hosszú érési idő kell. De ha az ehhez szükséges 9–15 hónapot kivárjuk, sok ilyen nitrogéntartalmú bomlástermék lesz jelen a sajtban, melyek a fő aromahordozók, ezért kellően hosszú érés után a sajt nagyon gazdag ízvilágú lehet. Ez ritkán káros következményekkel is jár: a keletkező aminosavak egy része, a biogén aminosavak (pl. tiramin, hisztamin) erős élettani hatásúak. A rájuk érzékeny vagy adott (pl. MAO gátlószertartalmú) gyógyszert fogyasztó embereknek kellemetlen tüneteket – pulzusszám-növeke-

dést, vörösödést, kimelegedést – okozhat. Ezeket a biogén aminosavakat elsősorban a tejben természetesen jelen lévő baktériumok termelik szobahőfok körüli hőmérsékleten. Ebből következik, hogy a különlegesnek számító, nyers tejből készült, érett keménysajtokat nem érdemes hosszú ideig szobahőfokon tárolni, mert az kedvez a biogén aminosav keletkezésének. A kellemetlen hatások a tej pasztörözésével és utána tejhez adott baktériumkultúrával, azaz szintenyészt alkalmazásával és a megfelelő üzemi higiénia való odafigyeléssel elkerülhetők.

A fentiek ismeretében a sajtok sokfélesége már nemcsak a hagyományosan kialakult különféle gyártási eljárások miatt lesz különböző, hanem a fehérjebontás folyamata a körülmények megfelelő beállításával irányíthatóvá válik, újabb és újabb sajtok tervezhetőek. Például a magasabb végű pH kedvez a kéregkultúra kialakulásának. Nagyobb víztartalomnál gyorsabb érés lehet, a nagyobb sókoncentráció ellenben lassít. A só persze ízanyagként, ízfokozóként is fontos. Az alacsony sótartalom nemcsak a szegényes ízvilág miatt rossz, hanem a tartósságot is csökkenti, mindemellett az érés szempontjából is agályos, túlzott fehérjebontást, keserűséget okozhat. Ma már számos baktériumtörzstenyésztés áll rendelkezésre, így lehet a kívánt ízvilághoz választani és rendelni megfelelő baktériumkeveréket.

## Zsírlebontás

A sajtérlelés során zsírlebontásra is lehetőség van (6. ábra). A tejben, a hozzáadott baktériumokban, élesztőkben, penészekben is jelen vannak lipáz enzimek. A tejsavbaktériumok közül a heterofermentatív erjedést végző tejsavbaktériumok egy része, a *Lactococcus diacetylactis*, a *Leuconostoc* fajok jelentős zsírlebontók. A kéregkultúrát alkotó korineform baktériumok,



6. ábra. A zsírlebontás folyamatábrája



élesztők mellett a tejenész rendelkezik jelentős lipázaktivitással. Hosszabb ideig hidegben való tárolás során a tejben elszaporodó hidegtűrő baktériumoknak is vannak lipáz enzimeik.

A lipáz enzimek aktivitását a tej hőkezelése befolyásolja. A pasztörözés a tej saját zsírbontó enzimeit elpusztítja, így a zsírbontásnak a nyers tejből készült sajtoknál nagyobb az esélye. De a tejben lévő mikroba lipázai hőstabilak, ezért a pasztörözött sajtoknál is végbe mehet zsírbontás.

A szinte mindig jelen lévő lipáz enzimek ellenére a zsírbontás mégis viszonylag ritkán következik be, mert a tejben lévő zsírgolyócskákat fehérjeburok védi, így ha ezek nem sérülnek, a lipáz enzimek nem férnek hozzá a zsírokhoz. A tej nem elég kémleteres szállításakor, pumpálásakor sérülhetnek a zsírgolyócskák, és ez elősegíti a zsírbontás bekövetkezését.

Összességében a sajtok érése során a zsírbomlás kevésbé jellemző, és általában nem is kívánatos, mert az ekkor keletkező vegyületek kellemetlen csípős, karcos, avas, szappanos ízt eredményeznek.

Mégis érdemes áttekinteni a zsírbontás lépéseit, mert a zsírbontás két sajttípusnál kedvezően járul hozzá a sajtok ízvilágához. A trigliceridek digliceridekké, majd monogliceridekké képesek alakulni, aminek során szabad zsírsavak keletkeznek. Ezek tovább tudnak oxidálódni béta-ketonsavakká, majd dekarboxileződés után metilketonok alakulhatnak ki. Ez utóbbiak és a rövid szénláncú zsírsavak (pl. kecsketejben lévő 10 szénatomos kaprinsav) különösen erős aromaanyagok. A metilketonok szekunder alkoholokká is redukálódhatnak. A keletkező alkoholok és karbonsavak ennél a folyamatnál is észtereket képezhetnek, akár csak a tejcukor bomlásakor. A zsírsavakból laktonok is termelődhetnek, melyek szintén erős, de nem specifikusan sajtos aromaanyagok, inkább az összehatáshoz járulnak hozzá.

A Parmezán és a hasonló olasz extrakéremény sajtok megfelelő ízéhez kismértékű zsírbontás kell. Ezt alkalmas oltóval, szarvasmarha-lipázokat tartalmazó oltópaszta alkalmazásával érik el. Ennek a sajttípusnak a sajátos ízt részben a felszabaduló zsírsavak okozzák.

A penészrel érő sajtok – például a bel-sejében képenésszel érő Rokfort, illetve a felszínén fehérpenésszel érő Camambert – gazdag ízvilágának kialakulásához erős, illetve közepes zsírbontás szükséges. Ezeknek a sajtoknak ketonok okozzák az ízt, képződésük megfelelő penész kultúra, illetve kéregkultúra hozzáadásával segíthető.

A képenészes sajtoknál használt *Penicillium roqueforti* erősen, a fehérpenésszel érő sajtoknál, például a Camambert-nél használt *Penicillium camamberti* közepesen zsírbontó, ami jól magyarázza a képenészes sajtok erősebb ízét. Az íz erősségének fokozására, gyakran a képenészes sajtoknál a tej homogénezésével, a zsírgolyócskákat szándékosan apró cseppekre bontják, hogy a zsírgolyócskák védőburka megsérüljön, a zsírbontás nagyobb mértékű legyen.

Mindkét esetben sok múlik az érési időn. Általában az érettebb sajtnál a zsírbontás mértéke nagyobb, a szabad zsírsavtartalom nő, annál is inkább, mert semleges, lúgos kémhatásnál működnek a lipázok. A túl hosszú érlelés fehérpenésszel érő sajtoknál túlóregedést, kellemetlen, keserű ízt termelhet eredményezhet. A képenészes sajtoknál viszont a hosszabb érlelés a jobb, az érés a zsírsavtartalmat csökkenti, kevesebb hosszú érlelési idő után kellemesebb íz fejlődhet ki, az erős penészes íz tompul.

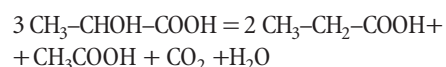
A zsírtartalomnak nemcsak a bomlás miatt van jelentősége. Sok aromaanyag apoláris, zsírban oldódik jól, ezért a nagy zsírtartalmú sajtok rendszerint ízletesebbek. Ez azonban csak hozzátesz az ízvilághoz, mert összességében a vízben oldható kis molekulák adják a sajtok alapízét.

### A vízben oldódó kismolekulájú szerves savak átalakulása

A friss sajtokban az L- és D-tejsav különböző arányban lehet jelen, attól függően, hogy a hozzáadott baktériumkultúra milyen arányban termeli a két izomert. Az érés során a két izomer aránya idővel kiegyenlítődik. A folyamat gyakorlati jelentősége csekély, mert az ízvilágban nem hoz változást. A tejben lévő egyes mikroba, például a *Pediococcus* képesek átalakítani a tejsavat, jelenlétük befolyásolja az ízt. De ennél sokkal fontosabb, hogy a kéregkultúra penészgombái és élesztői a tejsavat sejtlegzésük során szén-dioxiddá és vízzé alakítják, ami a kéreg alatt a pH növekedéséhez vezet. Ez segíti a kéregkultúra baktériumainak elszaporodást mintegy két hét után, ami a sajt felszínének sárgászöld színűvé válásában figyelhető meg. A tejsav ennek hatására belülről kifelé vándorol, a pH belül is nő. Ez a gél-szol átmenetet segíti és gyorsítja az aromaanyagok termelődését. A kéregkultúrával érő lágy sajtok, például a Pálpusztai gyorsan túlérik, kellemetlen ízanyagok halmozódhatnak fel bennük, ezért a kéregkultúra kialakulása után, mintegy két hét eltelté-

vel már 10 °C alá hűtve tárolják őket. Ezen az alacsony hőfokon is tovább érnek, és így is pár héten belül el kell őket fogyasztani.

Ha propionsav-baktériumok vannak jelen, a tejsavból propionsav, ecetsav, borostyánkősav és egyéb szerves savak keletkeznek szén-dioxid képződése mellett. A propionsavnak köszönhetően diós ízt kapunk az Ementáli típusú sajtokban. Az egyik jellemző reakció egyenlete:



A propionsav-baktériumokat kis mennyiségben adják a tejhez, mindig vannak mellettük pácika alakú tejsavbaktériumok, *Lactobacillus* is. Ezek jelentős fehérjebontók, az általuk termelt édes ízű aminosavak is hozzájárulnak az Ementáli típusú sajtok karakteréhez. A két lebontási folyamat össze is kapcsolódik, a *Lactobacillus* által termelt aszparaginsavból is képződik fumársavon keresztül borostyánkősav a propionsav-baktériumok hatására. Gyors fehérjebontásnál erősebb a szén-dioxid-képződés és kisebb arányban keletkezik propionsav, nagyobb arányban ecetsav.

A „melléktermékként” képződő szén-dioxid a sajt anyagát, a sajtélesztőt telíti. Ha a sajtészta megfelelő állagú, egynemű, akkor nagy kerek erjedési lyukak képződhetnek, ami az ilyen sajtokat látványossá teszi, bár a sajt minősége szempontjából nem annyira nagy a jelentősége.

A megfelelő lyukak kialakítása nem könnyű feladat. Kemény, rugalmatlan, törekeny, úgynevezett krétás sajtésztaánál szabálytalan lyukak, hasadások lesznek, ezért ennek elkerülésére az alvadék kidolgozásánál 10–15%-os alvadékmosást végeznek. Nagyméretű lyukak képzése erős fehérjebontó *Lactobacillus helveticus* és erősen aszparaginbontó propionsavbaktériumkultúra alkalmazásával segíthető. Ha kisebb lyukakat szeretnénk, más *Lactobacillus* fajokot használunk, melyek gátolják a propionsav-baktériumok szaporodását. Szintén segíti a lyukméret csökkenését a gyengén aszparaginbontó propionsavbaktériumkultúra használata.

A friss tej mindig tartalmaz kis mennyiségben citromsavat. Ebből a baktériumok további szerves savakat, ecetsavat, piroszölősavat termelnek, emellett diacetil, ecetsav, etanol, hangyasav is keletkezik, melyek fontos aromaanyagok. A citromsav átalakulása kis mennyiségű szén-dioxid képzéssel jár, legfeljebb 1 cm-es lyukakat eredményez. Mérsékelt gázképződés egyenletesebb sajtésztahoz vezet, az erős gáz-

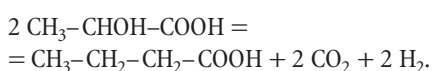


képződés viszont már egyetlen lukazottságot okoz, mértéke a kultúrák, kultúra-kombinációk megfelelő megválasztásával jól befolyásolható. Továbbá itt is megfelelő állagú tézsa kell a kerek, ritkás lyukazottsághoz, ami rendszerint alvadékosással érhető el.

## Káros folyamatok az érés során

A legnagyobb gondot az utóerjedés okozza. Akkor következik be, ha nagy mennyiségű tejcukor marad a sajtban. Ennek a lebomlása az érlelőben folytatódhat, főleg, ha a hőmérséklet átmenetileg megemelkedik. Ekkor már nem lehetséges a fehérjefonalak további összehúzóódása, a színerzés miatti savleadás lezajlott. A keletkező tejsav nehezen adódik le, lassan szivárog ki, állandóan nedves fehérkenőcsös kérget eredményez, melyen a kéregkultúra nem tud rendesen kialakulni. A felhalmozódó tejsav miatt túl alacsony pH alakul ki, 4,6-os pH alatt a kazein kicsapódása is bekövetkezhet, kemény, törekeny sajttészta kapunk, a sajt akár teljesen túrószerűvé is válhat, betúrósdhat. Mindez gátolja a szokásosan lejátszódó bomlási folyamatokat, súlyos ízhibákat eredményezhet.

Ha a tejbe a pasztörözést túlélő spórás vajsavbaktériumok kerülnek, 3–4 hónap után késői puffadás alakul ki. A tejsavból vajsav alakul ki szén-dioxid és hidrogén termelődése mellett:



A keletkező apoláris hidrogéngáz egyáltalán nem oldódik a vízben, hamarosan felújja a sajtot, repedéseket idéz elő benne. A vajsav mellett butanol, ecetsav, izopropil-alkohol, etanol, acetone is keletkezhet. Az ilyen sajt elsősorban a vajsav miatt lesz élvezhetetlen ízű.

## Sajt a kémiaórán

A fenti összefüggésből jól látszik, hogy a kémiai folyamatok milyen nagy mértékben jelen vannak az életünkben, mennyire fontosak alapvető élelmiszereink előállításában is. A középiskolás anyagban rendszerre tanított és részletesebben bemutatásra kerülő oxigéntartalmú vegyületcsoportok között szinte nincs is olyan, amely a fenti folyamatokban nem került említésre. Többségük, az alkoholok, aldehidek, ketonok, karbonsavak és észterek kulcsfontosságúak a sajtok ízvilágának kialakításában. Hasonló mondható el a nitrogéntar-

talmú szénvegyületekről, az aminok különösen fontos kulcsszereplők. A természetes szénvegyületek közül a szénhidrátok, fehérjék, zsírok ismerete megkerülhetetlenül fontos.

A kevésbé ismert, de mégiscsak gyakorlati jelentőségű szerves vegyületek köznap és szabályosabb elnevezése jó alkalmat adhat az elnevezések gyakoroltatására. A cikkben bemutatott folyamatábrák a vegyületek egymásba alakulásának bemutatására alkalmazhatók. A változások értelmezése segít a tananyag elmélyítésében, miközben az élelmiszeripar egyik finom terméke lehet a fókuszban.

A szerves kémia mellett az általános kémia is más megvilágításba kerülhet. A reakciók közül a sav-bázis reakciók a sajt állagának kialakulásában, a redoxireakciók a bomlás során egymásba alakuló vegyületek képződésében kulcsszerepet játszanak. A kolloidikai ismeretek sem nélkülözhetők, különösen a micellákról, gélekről tanultak. Látható, hogy a kémia tananyag bemutatásának számos része „fűszerezhető” csupán a sajtgyártásból vett érdekességekkel vagy készíthetők hozzá erre alapozott problémamegoldó vagy projektfeladatok. Bízom benne, hogy tanár kollégáim sokat tudnak majd méríteni a fentiekből mindennapi kémiaoktatásuk érdekesebbé, színesebbé, korszerűbbé tételében.

## Mintafeladat

I. Olvasd el a „Vízben oldódó kisméretű szerves savak lebomlása” c. fejezetet!

II. A tejsav szabályos neve 2-hidroxi-propánsav. Rajzold le a szerkezeti képletét, majd jelöld a különböző funkciós csoportokat és sorold be, melyik vegyületcsoporthoz tartoznak! Számozd be a szénatomokat és jelöld meg, melyik a királis szénatom!

III. A szöveg szerint a tejsavból víz és szén-dioxid keletkezik.

Írd fel a folyamat rendezett egyenletét képletekkel!

A saválló fogalma és a keletkező vegyületek képlete alapján értelmezd, hogy a pH nő!

IV. Mikor várunk nagyobb lyukakat a sajtban, alacsonyabb vagy magasabb hőmérsékleten? Miért?

V. Sorold be funkciós csoportok szerint a friss tej citromsavtartalmából keletkező vegyületeket!

Milyen folyamat mehet végbe az etanol és a hangyasav között? Írd fel a folyamat egyenletét! Milyen funkciós csoportot tartalmaz a termék?

## Projektötletek

I. *Sajtkészítés házilag a laborban rendelkezésre álló eszközökkel*

– Altasd meg a tejet kimozint tartalmazó oltóanyaggal és anélkül, illetve úgy, hogy helyette fügelevélből nyert nedvet, tejtöltő galajt használsz!

– Készítsd el a sajtot kultúra hozzáadása nélkül!

(A projektet vezető tanár egyes internetes honlapokról kis mennyiségben is beszerezhet elfogadható áron oktatási célra megfelelő különféle oltókat, kultúrákat. De kultúraforrásának élőflórás baktériumot tartalmazó joghurt vagy házilag készített aludttej is megfelelő.)

– Figyeld meg az egyes esetekben lejátszó változásokat és értelmezd a tapasztalataidat! Milyen anyagok keletkezhetnek?

Miben más a folyamat?

– Hasonlítsd össze a saját sajtot gyártásának folyamatát a videón látható gyári sajtgyártás folyamatával! Milyen más technológiai megoldásokat igényel az eltérő lépések? Keress hasonló párhuzamokat az iskolai kémcsökísérletek és a vegyipari eljárások között!

(Ajánott link: <https://www.youtube.com/watch?v=sDJarrWqWMM>)

## II. Az enzimműködés vizsgálata

Megfelelő mennyiségű kimozin enzim hatására a nyers tej néhány perc, fél óra alatt megszilárdul, ha a kísérlet során termelői nyers vagy kíméletesen hőkezelt tejet használunk. A kísérlet körülményeinek változtatásával jól bemutatható a hőmérséklet, a kémhatás, az enzimmennyiség, a jelen lévő kalciumionok (legcélzerűbben kalciumklorid-oldat formájában adagolva), a tej hígításának, a tej előzetes erős hőkezelésének, homogénezésének hatása (pl. dobozos, UHT tejet használva), vagy akár a diákok vagy a szaktanár részéről felmerülő egyéb tényezők hatásának vizsgálata az oltoenzim működésére.

**Köszönetnyilvánítás.** Elsőként köszönettel tartozom Márkus Gyulánának, aki a sajtkészítő OKJ tanfolyamon tanított és a mestervizsgára is felkészített. Nagy köszönettel tartozom Hans Knüsel svájci technológusnak és szakoktatónak, aki sokat segített tudásom elmélyítésében, nagyon sok általa készített jegyzettel is ellátva engem. Külön köszönettel tartozom dr. Borbás Rékának, aki kémia tanári és vegyészszemmel nézte át a kéziratot.

## IRODALOM

- Joseph Kammerlehner: Käsetechnologie, Hilden, Deutschland: B & L Mediengesellschaften, 2015.  
 Patrick F. Fox, Timothy P. Guinee, Timothy M. Cogan, Paul L. H. Mc. Sweeney: Fundamentals of cheese science, Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, 2000.  
 Somogyi Imre: Tejipari technológia I–II., Budapest: VM Vidékfejlesztési, Képzési és Szaktanácsadási Intézet, 2011.