



ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2022. november 23.

Különböző fagyasztási módszerek hatása félkemény sajtokra
Effects of different freezing methods on semi-hard cheeses

Készítette: Méhes Attila Dénes
IXQVSR
Élelmiszermérnök, alapképzés
Nappali
Budai Campus

Témavezető: Hidas Karina Ilona, tudományos
segédmunkatárs, MATE, Budai Campus, Élelmiszertudományi
és Technológiai Intézet, Állatitermék és Élelmiszertartósítási
Technológia Tanszék

Lehetséges OTDK szekció: Agrártudományi

Budapest
2022.

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	1
2. CÉLKITŰZÉS	2
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	3
3.1. Sajt	3
3.1.1. Sajtok osztályozása	3
3.1.2. Oltós olvasztású sajtok	3
3.1.3. Félkemény sajtok	4
3.1.4. Trappista sajt	4
3.1.5. Gouda sajt	4
3.1.6. Sajtok gyártása	4
3.2. Élelmiszerek fagyasztása közben lejátszódó folyamatok	5
3.3. Fagyasztó berendezések	8
3.3.1. Teremfagyasztók	8
3.3.2. Áramló levegős gyors/sokkoló fagyasztók	9
3.4. Tejtermékek fagyasztása	9
3.4.1. Sajtok fagyasztása	9
3.5. Differenciális pásztázó kalorimetria (DSC)	13
3.6. Állomány profil vizsgálat (Texture Profile Analysis - TPA)	14
3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	15
3.1. Kísérlethez használt termékek	15
3.1.1 Trappista sajt	15
3.1.2. Light Trappista sajt	16
3.1.3. Gouda sajt	16
3.2. Fagyasztáshoz használt eszközök	18
3.3.1. Statikus fagyasztószelektény	18
3.3.2. Áramló levegős fagyasztószelektény	19
3.3. Hőmérsékletváltozás regisztrálása	19
3.4. pH mérés	20
3.5. Műszeres állományvizsgálat	20
3.6. Szín mérés	21
3.7. Differenciális pásztázó kalorimetria	23
3.8. Szárazanyag tartalom meghatározás	24

3.9. Érzékszervi vizsgálat.....	25
4. Kísérleti eredmények és értékelésük	25
4.1. A különböző sajtminták fagyásgörbéinek összehasonlítása	25
4.2. A sajtok pH-jának változása a fagyasztás-felengedtetés során.....	27
4.3. Sajtok szárazanyag tartalmának vizsgálata fagyasztás előtt és után	28
4.4. Fagyasztás hatására kialakuló színváltozás vizsgálata.....	29
4.5. A sajtminták állományváltozása fagyasztás hatására.....	32
4.6. DSC vizsgálat friss és fagyasztott sajtok esetében.....	35
5.7. Friss és fagyasztott sajtok érzékszervi bírálata	38
5. Összegzés.....	42
Irodalomjegyzék	43

1. BEVEZETÉS

Az élelmiszerek tartósításához többféle technológiát alkalmaznak, mint például a fagyasztás, szárítás, besugárzás, vagy hidrosztatikus nyomáskezelés (Fang et al 2021). Azonban a fagyasztás a legáltalánosabb és legkedveltebb módja az élelmiszerek tartósítására (Alinovi, M., et al., 2020). Az élelmiszerek fagyasztással történő tartósítása a fizikai eljárások közé tartozik, célja a friss, nyers vagy előkészített élelmiszerek tulajdonságainak a lehető legnagyobb mértékű megőrzése (Balla, Cs. & Sáray, T., 2002). A fagyasztás során a megfelelő minőség megőrzését a következő körülményeknek köszönhetjük: a biokémiai reakciók sebessége az alacsony hőmérséklet miatt lecsökken; az élelmiszerben található víz fázisátalakuláson megy keresztül, melynek következményeként a termék vízaktivitása csökken (Balla, Cs. & Sáray, T., 2002).

A tej és tejtermékek a teljes élelmiszeripari és mezőgazdasági ágazat jelentős részét képezik (Andrews T. & Varley J., 1994). Tej és a tejtermékek fagyasztása hatékony módszer a tej szezonálisának csökkentésére, valamint az eltarthatósági idő növelhető, a vásárlók több és magasabb minőségű áruhoz juthatnak. (Alinovi, M., et al., 2020). A fagyasztott tejtermékeket két csoportba lehet osztani. Az első csoportba azok tartoznak, amik azért kerülnek fagyasztásra, hogy meghosszabbítsuk a minőségmegőrzési idejüket, majd későbbi felhasználásra vagy feldolgozáshoz felengedetésre kerülnek. A második csoportba tartoznak az olyan termékek, amiket a megfelelő állomány és szerkezet elérésének céljából fagyasztanak le, majd a fogyasztásuk fagyott állapotban történik (Goff, H. D. & Sahagian, M. E., 1996). Amikor a tejtermékek fagyasztására gondolunk, akkor a fagyasztott állapotban lévő termékek fogyasztása jut eszünkbe, mint például a jégkrémé. Azonban a fagyasztás megfontolandó megoldás többféle tejtermék tartósítására az élelmiszer pazarlás ellen (Alinovi, M., et al., 2020). A legtöbb tejterméket, ha megfelelően állítják elő és tárolják, akkor biológiailag, biokémiaileg és kémiaileg nagyon stabilak. Ezzel ellentétben, a sajtokban folyamatosan biológiai és biokémiai folyamatok játszódnak le, következtetésképpen egyáltalán nem stabilak (Fox, P. F., 1993). Hazánkban szinte a mindennapjainkat képezi a sajt fogyasztása, sajtokon belül is a legkedveltebb a Trappista (Internet 1.), de más félkemény sajt, mint a Gouda is egyre nagyobb piacot nyer.

2. CÉLKITŰZÉS

Amikor a tejtermékek fagyasztására gondolunk, akkor a fagyasztott állapotban lévő termékek fagyasztása jut eszünkbe, mint például a jégkrémé. Azonban a fagyasztás megfontolandó megoldás többféle tejtermék tartósítására az élelmiszer pazarlás ellen. (Alinovi, M., et al., 2020)

A legtöbb tejterméket, ha megfelelően állítják elő és tárolják, akkor biológiailag, biokémiaiilag és kémiaiilag nagyon stabilak. Ezzel ellentétben, a sajtokban folyamatosan biológiai és biokémiai folyamatok játszódnak le, következtetésekként egyáltalán nem stabilak. (Fox, P. F., 1993)

A múltban több kutató is foglalkozott már a sajtok fagyasztásával, de a nagy részük a magas víztartalmú sajtokra helyezték a hangsúlyt (mozzarella, krémsajtok), a víz és fagyasztással való kapcsolata miatt. A kutatók másik fele a külföldön a nagy népszerűség miatt a Cheddar sajt fagyasztását vizsgálták.

TDK dolgozatomban ezért azt a célt tűztem ki, hogy megvizsgáljam a két véglet közötti, sajtfélékre, a félkemény sajtokra miként hat a fagyasztás. Ezen belül is kétféle módszert szeretnék megvizsgálni: a lassú (hagyományos) illetve a gyorsfagyasztást. Továbbá fagyasztva tárolás során, az idő előrehaladtával változnak-e a sajtok tulajdonságai. Ezeket a tulajdonságokat fizikai, termofizikai mérésekkel szeretném megvizsgálni. Valamint érzékszervi bírálattal meggyőződni arról, hogy az esetlegesen mérhető változásokat az emberek képesek-e észrevenni, ha pedig igen, akkor olyan formában-e, mint ahogy azt a mérések megállapították.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Sajt

A sajt tejből készül, tejszín, író és/vagy savó hozzáadásával. Ezt a keveréket sajttejnek is nevezik. A sajt főleg kazeinből (a tej fő fehérjéje), egyéb tejfehérjékből, zsírokból, egyéb tejkomponensekből és bizonyos százalékban kötött vízből áll. A fehérjéket enzimekkel és/vagy savanyítással, valamint hővel kicsapatják, és megfelelő eljárásokkal elválasztják a vizes fázistól (savó, tejszérum). A sajtot leggyakrabban formázzák, préselik, sózzák, és gombás és bakteriális kultúrákat, színezékeket, fűszereket és fűszernövényeket, valamint egyéb, nem tejből készült összetevőket adhatnak hozzá. Frissen vagy érlelést követően fogyasztják. (Spreer, E., 1995)

3.1.1. Sajtok osztályozása

Világszerte több mint 2000 sajt fajta létezik, amelyek olykor nagyon különböző gyártási eljárásokkal készülnek. Az osztályozásuk több szempont alapján történhet és különböző országokban különböző kritériumok szerint történik. A legtöbb esetben az osztályozást, a meghatározást, valamint a gyártási és minőségi kritériumokat valamilyen kódex vagy törvény szabályozza. Az általános és nemzetközileg elismert osztályozás a nyersanyag, állománya, a belső és külső jelleg (a tej típusa után a sajt típusa, mint például kemény, félkemény, féllágy és lágy sajt elnevezés kerül megjelölésre), a lyukképződés és a felületi jellemzők (gomba, rúzs kultúra) (Spreer, E., 1995).

3.1.2. Oltós alvasztású sajtok

„Tejből, a felsorolt összetevőkből vagy azok egy részéből, a jellegének megfelelő kultúra hozzáadásával, enzimes alvasztással, a tejfehérje részleges vagy teljes koagulálásával, savóelvonással - membránszeparációs technológiával gyártott sajt esetén permeátumelvonással - előállított szilárd vagy félszilárd termék, amelyben a savófehérje-kazein arány nem haladja meg a tejben lévő, és amelyet rövidebb-hosszabb ideig érlelnek.” Magyar Élelmiszerkönyv 1-3/51-1

Az Élelmiszerkönyv által felsorolt további összetevők a következők: tej, tejszín, savószín, tejpor, tejsűrítmény, tejfehérje-koncentrátum, savófehérje-koncentrátum, részben fölözött tej, sovány tej, író vagy ezek kombinációi, tejsavbaktérium-kultúrák, *Propionibacterium shermanii* színtenyésztete, *Brevibacterium linens* színtenyésztete, *Penicillium roqueforti* színtenyésztete, *Penicillium camemberti* vagy *Penicillium caseicolum* színtenyésztete,

probiotikumok vagy ezek keveréke, más, élelmiszer-biztonsági szempontból nem aggályos, engedélyezett színtenyészetek, rennin vagy más megfelelő alvasztóenzim, víz, étkezési só.

3.1.3. Félkemény sajtok

A félkemény sajtok az egyik legelterjedtebb illetve legtöbbet fogyasztott fajták, mert viszonylag könnyen előállíthatóak, többféle ételhez használhatóak, megfelelő körülmények mellett pedig sokáig eltarthatóak.

A félkemény sajtokat a szilárd, de jól vágható állomány, a közepes méret és tömeg, a szabályos alak, valamint a többhetes érési idő jellemzi. Egész tömegükben egyenletesen érnek, egyes alcsoportok érésében a kéregflóra is szerepet játszik (MÉ, 1-3/51-1).

3.1.4. Trappista sajt

A Magyar Élelmiszerkönyv 2-51/06 szerint Trappista sajt tehéntejből tejsavbaktérium-tenyészet, oltóenzim és kalcium-klorid, kálium- vagy nátrium-nitrát hozzáadásával készített, sózott, érlelt, jellegzetes érzékszervi tulajdonságú, félkemény, erjedési lyukas sajt. Zsírtartalma a szárazanyagban minimum 45 m/m%.

3.1.5. Gouda sajt

A Codex Alimentarius nemzetközi szabványában megfogalmazva a Gouda félkemény sajt, melynek színe az elefántcsonttól a sárgáig terjedhet, kemény textúrájú, vágható állományú. A sajtésztaiban a tűhegy méretűtől a borsó méretűig tartó, több-kevesebb erjedési lyuk található. Zsír a szárazanyagban tartalma minimum 30 m/m%.

3.1.6. Sajtok gyártása

Sajtot bármely tejet adó állat tejéből lehet készíteni. A tehéntej a leggyakrabban használt az Egyesült Államokban és Nyugat-Európában, de rohamosan növekvő érdeklődés van az iparban a kecsketej és kis mértékben a juhtejből készült sajtok felé. Egyes régiókban ahol a tejet szent ételnek tartják, ott sikeresen előállítottak sajtot rekombinált vízmentes tejzsírból és sovány tejporból. (Varnam, A. & Sutherland, J., 1994)

A sajtgyártás folyamata több részből áll, a főbb lépések a sajt fajták között igen hasonlóak. (Tetra Pak, 1995). A folyamat során viszonylag kismértékű változtatásokkal jelentősen érzékelhető különbségeket érhetünk el a kész termékénél. (Varnam, A. & Sutherland, J., 1994). A sajtgyártási művelet a megfelelő tej kiválasztásával történik. A tej mikrobiológiailag és kémiaiilag a legmagasabb szintű legyen, ne tartalmazzon semmiféle antibiotikumot. (Scott, R.,

1998). A sajt minőségét nagyban befolyásolja a tej zsír-, fehérje-, és kalcium tartalma és pH-ja. (Fox, P. F., et al., 2017)

A káros baktériumok hővel való elpusztítására 1857-ben Pasteur tett kísérletet. A pasztörözési folyamattal eltávolíthatóak a tejből az olyan mikroorganizmusok, amelyek rossz hatással vannak a sajtgyártásra, illetve fertőzőek (Scott, R., 1998), így az ételmérgezés esélye is minimalizálódik (Fox, P. F., 1993).

A pasztörözés után a tej nagy keverő tartályba kerül, ahol a tejoltó savanyító hatása révén a tej megalvad, vagyis a benne lévő fehérjék gélszerkezetet alkotnak, ami a zsírokat is magába zárja (Fox, P. F., et al., 2017). CaCl_2 hozzáadásával javítható a tej minősége, ami által az alvadáshoz szükséges időt lerövidíthetjük és az alvadék erősebb szerkezetű lesz. Az alvasztás körülbelül 30 percet vesz igénybe. Az alvadékot ezután tartályba épített, vagy kézi hárfákkal 3-15 milliméteres darabokra vágják a sajt fajtájától függően. Kisebb méretű szemcsékkel alacsonyabb nedvességtartalmú lesz az elkészült sajt (Tetra Pak, 1995).

Kis várakozást követően megfelelő mennyiségű savó eltávolítása és a kívánt pH elérése után a savót leeresztik az alvadékról. Az alvadékot ez után a sajt fajtájának megfelelő formába rakják és préselni kezdik a felesleges savó eltávolítása érdekében. (Fox, P. F., et al., 2017). Majd a kipréselt sajtokat szárazon sózzák, vagy sófürdőbe helyezik. A sózás időtartama függ a sajt fajtájának megfelelő sósságtól, a sajt méretétől, a sólé koncentrációjától.

A sajtok egyedi karakterisztikái az érlelés során fejlődnek ki (Fox, P. F., et al., 2017), a friss sajt keresztülmegy különféle mikrobiológiai, biokémiai és fizikai folyamatokon/változásokon (Tetra Pak, 1995). A kialakult ízt, aromát és textúrát nagyban befolyásolják többek között a gyártás folyamata, a sajt nedvesség- és sótartalma, pH-ja, az adalékanyagok, a starter kultúra lebontó hatása.

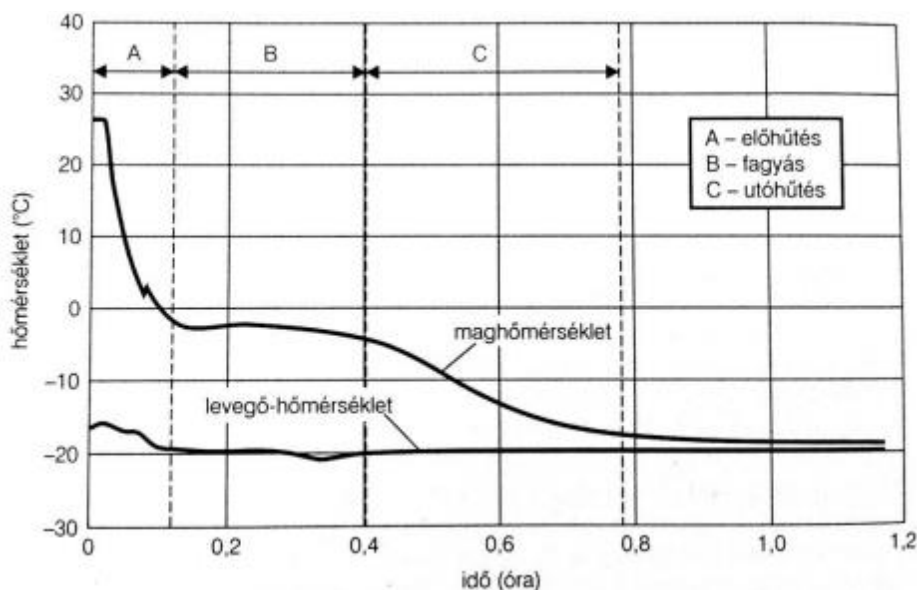
3.2. Élelmiszerek fagyasztása közben lejátszódó folyamatok

Az élelmiszerek fontos hőfizikai tulajdonsága a fagyáspont. Az élelmiszerek esetében azonban nem beszélhetünk fagyáspontról, hanem csak arról a hőmérsékletről, amelyen megkezdődik az élelmiszerekben levő víz fagyása illetve intenzív olvadása. A tiszta víz fagyáspontja normál légköri nyomáson 0°C , a vízből hőt elvonva hőmérséklete mindaddig 0°C marad, amíg a víz teljes tömege jéggé nem alakul. Mivel az élelmiszerekben levő víz oldott anyagokat is tartalmaz, ezért az adott térfogatban kevesebb víz fagyhat meg, ezenkívül az oldott anyag növeli a viszkozitást, gátolja a vízmolekulák mozgását és csökkenti azok diffúziójának sebességét. Ez a víz relatív gőznyomásának csökkenéséhez vezet. Mivel az oldott anyag gőznyomása kisebb az azonos hőmérsékletű tiszta oldószernél, az említett

egyenlőség csak alacsonyabb hőmérsékleten jöhet létre. Emiatt a fagyasztás során a fagyáspont csökkenés jelensége tapasztalható, a víz kifagyása 0°C-nál alacsonyabb hőmérsékleten indul meg. A hőelvonást folytatva „csökken a hőmérséklet csökkenése”, miközben egyre több víz fagy ki. Az élelmiszerek víztartalma tehát nem egy adott hőmérsékleten alakul át jéggé, hanem egy hőmérséklet-tartományban. (Balla, Cs. & Sárany, T., 2002)

Az élelmiszerek fagyasztását időben 3 szakaszra lehet osztani (1. ábra)

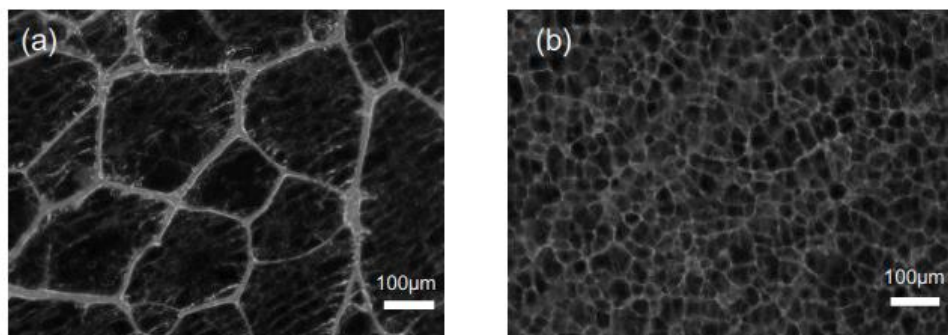
- *Előhűtési szakasz:* Az az időtartam, ami alatt az élelmiszer az adott hőmérsékletéről eléri a fagyásponti hőmérsékletét.
- *Fagyási szakasz:* Az az időtartam, ami alatt az élelmiszerben található kifagyasztható víztartalom megfagy
- *Utóhűtési szakasz:* Az az időtartam, ami az élelmiszernek kell ahhoz, a maghőmérséklete elérje a végső hőmérsékletét (általában -10 és -18°C között) (López-Leiva, M. & Hallström, B., 2003)



1. ábra: A levegő és a minta maghőmérsékletének változása hűtés folyamán
(Balla, Cs. & Sárany, T., 2002)

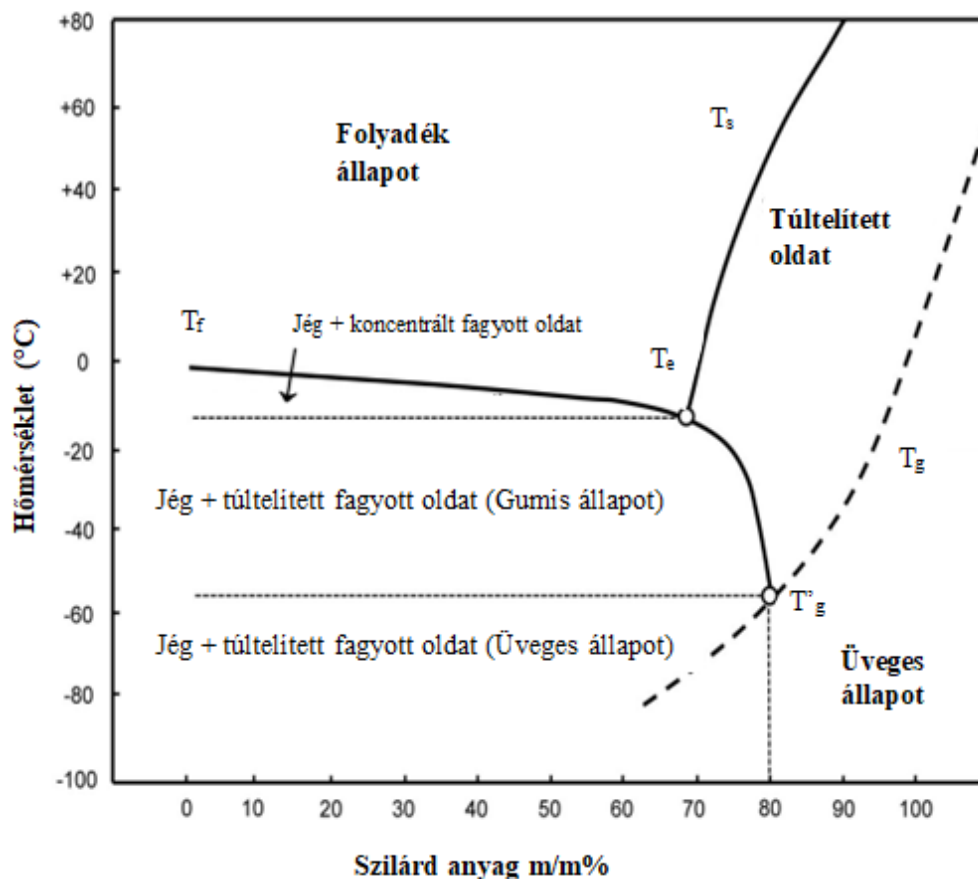
Az élelmiszerek fagyasztásánál nagy figyelmet kell fordítani arra, hogy az milyen technológiával történik. Ez gazdasági és minőségi szempontokkal is magyarázható. Különböző technológiáknak más-más a telepítési (méret) költsége és használati (energia/idő) költsége. A fagyasztott termékek minőségét meghatározza a fagyasztás sebessége, a hőmérséklet nagysága és ingadozása, illetve a környezeti hatások, például légmozgás és páratartalom. A legnagyobb befolyásoló tényező a sebesség, hiszen a művelet elvégzése során

a kialakuló jégkristályok mérete függ a fagyasztás sebességétől. Nagyobb sebesség hatására kisebb, de több jégkristály alakul ki (2. ábra) (Kono, S., et al., 2017). Általánosságban, a fagyasztási folyamat hatására a jégkristályok megsokszorozódnak, gócot alkotnak. (Zhao, Y. & Takhar, P. S., 2017)



2. ábra: Jégkristályok keresztmetszeti képe fagyasztott zselatin mintában (a) normál fagyasztás: $-0,026\text{ }^{\circ}\text{C/perc}$ (b) gyorsfagyasztás: $-0,757\text{ }^{\circ}\text{C/perc}$ (Kono, S., et al., 2017)

A fagyáspont közelében kevés nagy méretű kristálygóc keletkezik. A hőmérséklet csökkentésével több kristálygóc képződik, ezek azonban kisebbek, és méretük mindinkább azonos. -30 és $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ körül sok mikroszkopikus méretű kristály keletkezik, melyek azonos méretűek. Azonban a maximális helyzet elérése után csökken a képződő gócok száma. A kristálynövekedés sebessége a kristálygócok kialakulásával azonos jelleget mutat, viszont a két görbe egymáshoz képest eltolódik. A fagyásponthoz közel, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ közelében a kristálynövekedés sebessége attól függ, hogy milyen gyorsan tud a víz a felületre diffundálni, ezért viszonylag kis értéket mutat. Ennél alacsonyabb hőmérsékleten a hő felületről való elvonása áll a középpontban, így a kristálynövekedés sebessége nő, majd a maximum elérése után ismét csökkenő tendenciát mutat. (Balla, Cs. & Sárany, T., 2002). Ha a hőmérséklet eléri a megfelelő értéket, a fagyasztott termék halmazállapot változáson megy át, folyékony/gumiszerűből szilárd/üveges állapotúra változik. (3. ábra) (Zhao, Y. & Takhar, P. S., 2017).



3. ábra: Fázis diagram a vizes oldatokról állandó nyomás mellett (Alinovi, M. et. al 2020. nyomán)

A T_f és T_s jelöli a fagyáspontot és az oldhatósági görbét a szilárd anyag függvényében. T_g az üvegesedési görbe a szilárd anyag függvényében. T_e az eutektikus pont, T'_g pedig a maximális üvegesedési hőmérséklete a túltelített oldatoknak. A szaggatott vonal jelöli az egyensúlyi állapotot. (Alinovi, M., et al., 2020).

3.3. Fagyasztó berendezések

A levegő használat az egyik széleskörűen alkalmazott technológia az élelmiszerek fagyasztására, mert gazdaságos, higiénikus és nem korrodálja a fagyasztó berendezést. Nagy előnye a levegős rendszereknek, hogy szabálytalan alakú vagy kisszámú terméket is fagyaszthatunk. (James, S., 2008).

3.3.1. Teremfagyasztók

Az élelmiszerek fagyasztásához leggyakrabban teremfagyasztókat használnak. A levegőt a termék körül egy hűtött teremben recirkuláltatják (James, S., 2008). Ezzel a módszerrel a fagyasztási idő több szempont miatt is hosszú: lassú a légmozgás, a termék és a hideg levegő

között rossz a hőátadás, a termék és a levegő között kicsi a hőmérséklet különbség. (Singh, R. P. & Heldman, D. R., 2009)

3.3.2. Áramló levegős gyors/sokkoló fagyasztók

A fagyasztást lehetőleg gyorsan kell elvégeznünk, melyre a gyorsfagyasztó berendezések alkalmasak. (Csury, I., et al., 2002). A sokkoló hűtő kamrákban a lehűtési folyamat felgyorsítva zajlik. (Internet 9.). A légsebesség növelésével az élelmiszer megfagyásához szükséges idő lecsökken. (James, S., 2008) Ez elősegíti azt, hogy a kialakuló fagyás egyenletes mikrokristályokkal telített legyen és a lehető legrövidebb időn belül (többnyire 60 vagy 90 perc alatt) végbemenjen. A sokkoló hűtő gépekkel lehűtendő élelmiszer így megőrzi állagát, zamatát és hasznos tulajdonságait (Internet 9.).

3.4. Tejtermékek fagyasztása

Tej és a tejtermékek fagyasztása hatékony módszer a tej szezonálisának csökkentésére, valamint az eltarthatósági idő növelhető, a vásárlók több és magasabb minőségű áruhoz juthatnak. (Alinovi, M., et al., 2020). A tejet le lehet fagyasztani a szavatossági idő meghosszabbításának céljából, de a magas víztartalmat el kellene távolítani, ez pedig gazdaságilag kedvezőtlené teszi a folyamatot (Webb, B. H., 1968).

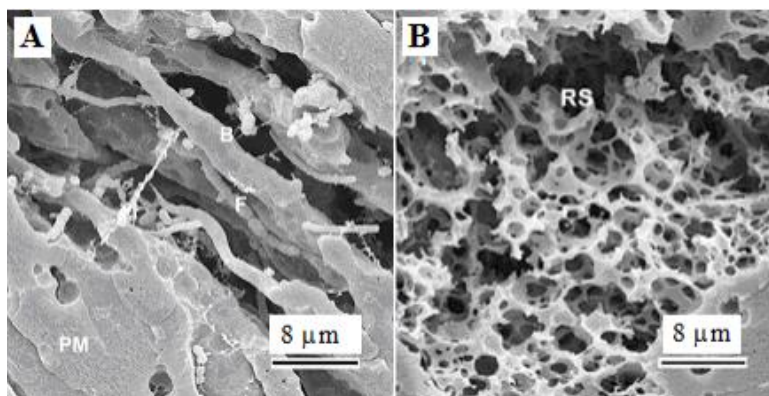
A fagyasztott tejtermékeket két csoportba lehet osztani. Az első csoportba azok tartoznak, amik azért történnek lefagyasztásra, hogy meghosszabbítsuk a minőségmegőrzési idejüket, majd későbbi felhasználásra vagy feldolgozáshoz felengedetésre kerülnek. A második csoportba tartoznak az olyan termékek, amiket a megfelelő állomány és szerkezet elérésének céljából fagyasztanak le, majd a fogyasztásuk fagyott állapotban történik. (Goff, H. D. & Sahagian, M. E., 1996)

3.4.1. Sajtok fagyasztása

A fagyasztás az egyik módja, hogy megőrizzük az ízét és fizikai tulajdonságait az éretlen sajtoknak, mint például a mozzarella, cottage cheese vagy esetleg tej alvadéknak. A fagyasztás hozzásegíthet az íz, állag és textúra megőrzésében a fogyaszthatósági idő meghosszabbítása mellett (Kasprzak. K., et al., 1994)

3.4.1.1. Állományváltozás

A sajt legnagyobb keménységi értéke várhatóan a tárolás 0. napján volt. Ennek az alacsony zsírtartalmú sajtok gumyszerű és kemény állományát alakító fehérjék érintetlensége az oka. A sajtminták kohéziós és rugalmassági értékei is magasabbak voltak 0. napon, mint fagyasztás után, ami szintén az alacsony zsírtartalmú sajtok magas fehérjetartalmának köszönhető. A kazeinek dehidratációja, átrendeződése és aggregációja megváltoztatja a fehérjehálózat szerkezetét és hátrányos hatással lehet a sajt vagy az alvadék állományára és funkcionális tulajdonságaira (Alinovi, M., et al., 2020). A fagyasztott sajtban megnőtt a fehérjék rendezetlen szerkezete, különösen a lassú eljárással fagyasztott minták esetében, ami összhangban van az elektron mikroszkóp vizsgálatok során megfigyelt mikrostruktúra károsodásokkal (4. ábra) és proteolízissel. (Jeremiah, L. E., 2019).



4. ábra: (A) nem fagyasztott és a (B) 4 hétig fagyasztva tárolt és 7 napig temperált Mozzarella sajtok mikroszerkezete. PM: proteinmátrix F: fehérjeszálak B: baktériumok RS: térhálós szerkezet. (Kuo, M.-I. & Gunasekaran, S., 2009)

Csökkenő tendenciát figyeltek meg rághatósági értékben, ami az kohézió és a rugalmasság közötti összefüggésnek köszönhető. A keménység csökkenése miatt az ebből származtatott paramétereket, mint a rugalmasságot és rághatóságot is befolyásolta a tárolási idő (Mushtaq, M., et al., 2015).. Más kutatás (Jeremiah, L. E., 2019) szerint, a sajttészta textúrája rögzősebb és lisztes lesz felolvasztás után. VNIIMS (All-Russia Scientific Research Institute of Metrological Service)-ben végzett vizsgálatok megállapították, hogy a természetes sajtok fagyasztása -18°C -on jelentős változásokat okoz a szerkezetben, ami rontja a minőségüket kiolvasztás után. (Sviridenko, G. M., et al., 2020). Cheddar sajt -18°C és -26°C tartományban való fagyasztásánál a sajt tésztája rögzőssé vált, a rögzősség mértéke pedig függ a sajt fagyasztás előtti tulajdonságaitól, vagyis mennyire voltak préselve készítésükkor. (Sommer, H. H., 1928). A lassú fagyasztás (-18°C -on) nagyméretű jégkristályokat okoz a sejt közötti

állományban, ami a víz diszlokációjához vezet, a sejtekből kilépő víz azok zsugorodását okozza, így összességében állományromlást tapasztalunk. (Conte, A., et al., 2017). 35% nedvességtartalom feletti sajtok esetében a jégkristályok által okozott károk miatt szilárdság csökkent a fagyasztás, majd kiolvasztás után. (Kasprzak, K., et al., 1994) A gyorsfagyasztás (-50°C-on), a gyorsaságánál fogva, a kristályok egyenletes eloszlását eredményezi mind a sejten belül és a sejt közötti (de főként sejten belüli) állományban (Conte, A., et al., 2017) Az olvadákonyság és a textúra nem változik jelentősen a fagyasztás után. (Alinovi, M., et al., 2020)

3.4.1.2. Színváltozás

A fagyasztva tárolás nem mutatott szignifikáns változást az L*, a* és b* értékekben vizsgált időszak alatt. Az a* és b* értékek esetében növekvő tendencia volt megfigyelhető a hűtőben való tárolás során. A fagyasztva és szobahőmérsékleten való tárolás során nem volt szignifikáns különbség ezen értékek között.

1. táblázat a Kalari/Kradi sajt Lab* színértékeinek változásáról fagyasztva tárolás során (Mushtaq, M., et al., 2015)

Hunter values	Storage days	Storage temperatures		
		Ambient	Refrigeration	Frozen
L*	0	91.9 ± 2.42 ^{2a}	91.9 ± 2.43 ^{3a}	91.9 ± 2.42 ^{1a}
	5	85.9 ± 1.54 ^{1a}	84.6 ± 0.88 ^{2a}	92.6 ± 2.28 ^{1b}
	10	—	74.0 ± 2.57 ^{1a}	92.9 ± 3.70 ^{1b}
	20	—	70.5 ± 0.89 ^{1a}	92.0 ± 1.24 ^{1b}
a*	0	-2.9 ± 0.18 ^{1a}	-2.9 ± 0.18 ^{1a}	-2.9 ± 0.19 ^{1a}
	5	-3.3 ± 0.07 ^{1b}	-3.15 ± 0.13 ^{1a}	-2.9 ± 0.18 ^{1a}
	10	—	-3.74 ± 0.17 ^{2b}	-2.9 ± 0.17 ^{1a}
	20	—	-3.95 ± 0.17 ^{2b}	-2.9 ± 0.16 ^{1a}
b*	0	1.9 ± 0.17 ^{1a}	1.92 ± 0.17 ^{1a}	1.9 ± 0.09 ^{1a}
	5	2.0 ± 0.15 ^{1c}	2.07 ± 0.07 ^{2b}	1.9 ± 0.03 ^{1a}
	10	—	2.26 ± 0.15 ^{3b}	1.9 ± 0.09 ^{1a}
	20	—	2.41 ± 0.17 ^{4b}	1.9 ± 0.07 ^{1a}

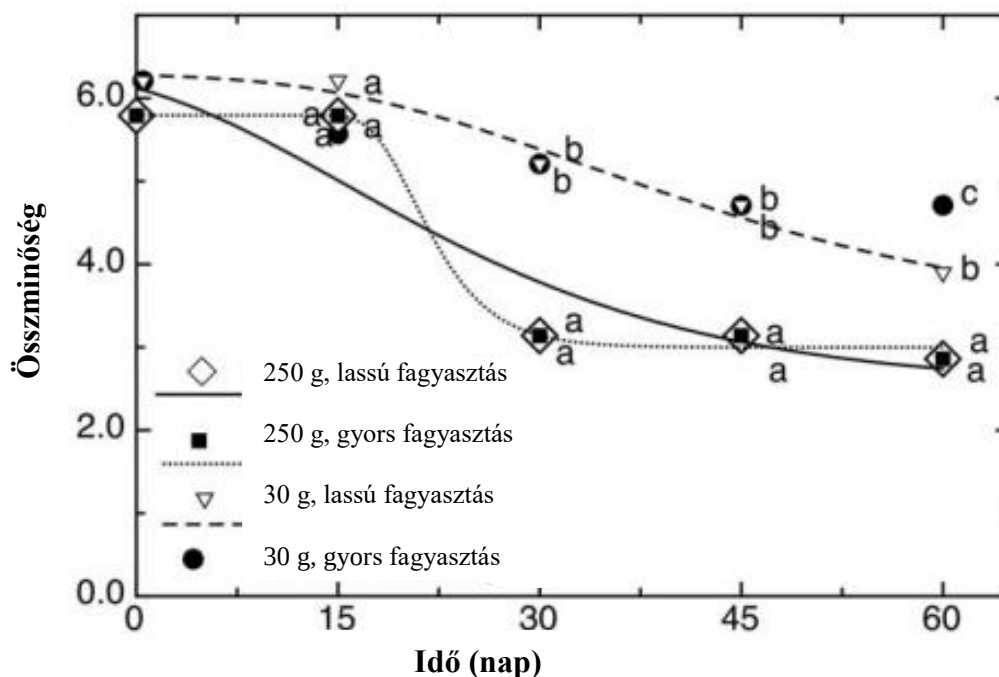
A színváltozás összefüggésbe hozható a pH változásával, a pH csökkenése segíti a tejszérum és a savó felszívódását, ami a kazein fényvisszaverő képességének csökkenését eredményezi, ami a megnövekedett átlátszatlanságot és csökkent fehérséget okoz. A fagyasztva és szobahőmérsékleten való tárolás során nem volt szignifikáns különbség az L*, a* és b* értékek között. (Mushtaq, M., et al., 2015)

3.4.1.3. pH változás

A fagyasztási sebesség és az alacsony hőmérsékleten (-14 és -55°C-on) való tárolás nincs hatással a pH-ra (Sviridenko, G. M., et al., 2020). A juhtejből készített sajt lassú fagyasztást (-35°C) és gyorsfagyasztást (-80°C) követően 4 hónapnyi -20°C-on való tárolás utáni pH-ja szignifikánsan megnőtt a kiindulási értékhez képest.

3.4.1.4. Érzékszervi tulajdonságok változása

A tárolási időszak alatt az minták összminősége csökkent a tárolási időszak alatt, a két különböző sajt minta (250 grammos és 30 grammos) között jelentős különbségek mutatkoztak, de a fagyasztási módszerek között csak csekély különbségek voltak (5. ábra). Érdeemes megjegyezni, hogy az összes minta esetében az összminőséget kizárólag a keménység változása befolyásolta; a szag és a szín mindig az előírt küszöbérték felett maradt (az adatok nem láthatóak). A két fiordilatte minta közötti összehasonlítás azt mutatja, hogy az összminőség változása a nagyobb mintáknál jelentősebbek. (Conte, A., et al., 2017)

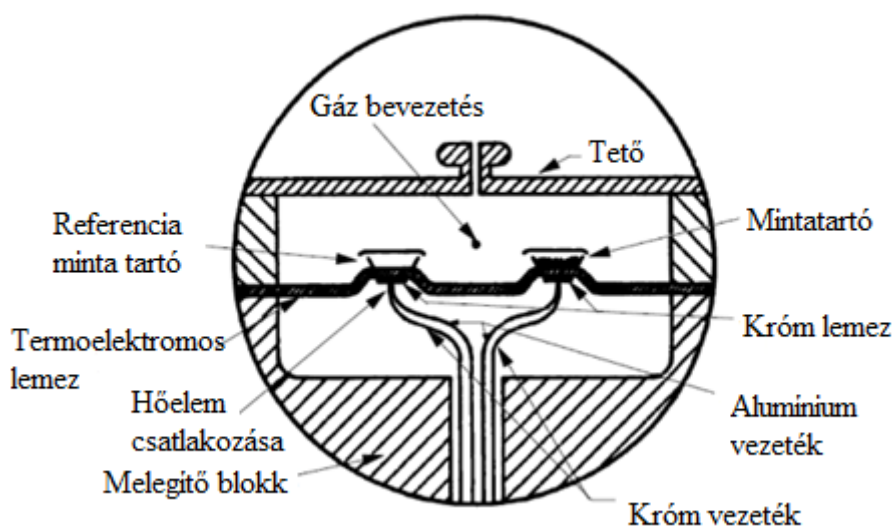


5. ábra: Fiordilatte sajt általános érzékszervi minősége általános és gyorsfagyasztós tárolása során. A görbék az érzékszervi tulajdonságokra átalakított Gompertz egyenlethől erednek. A 250-es szám jelenti a 250g-os mintát, a 30-as pedig a 30g-os mintát. (Conte, A., et al 2017 nyomán)

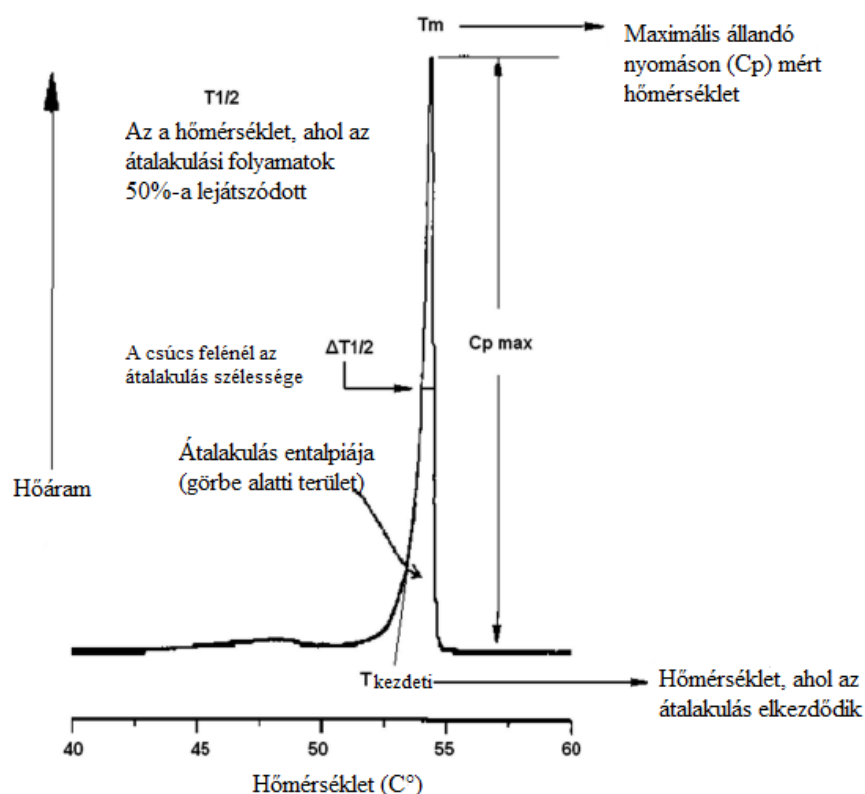
1987-ben Sen és Gupta kutatása számos textúra hibát felfedezett a tejtermékekben, amit a fagyasztás majd felengedtetés okozott, de megjegyezték, hogy a fagyasztott termékek ízletesek maradtak. (Jeremiah, L. E., 2019) Az érzékszervi értékelés során megállapították, hogy a fagyasztott nyers sajt ízének megváltozása közvetlenül a fagyasztást követően és felolvasztás után következik be. Az alacsony hőmérsékletű (-14 és -55°C-os) tárolás 90 napos időtartama után az összes nyers sajt mintában az eredeti nyers sajtban lévő fermentált tej ízzel ellentétben túlzottan savanykás ízt észleltek, a sajt íz intenzitása gyengül, és enyhe idegen íz jelenik meg. (Sviridenko, G. M., et al., 2020) Sajtok fagyasztása során az íz legtöbbször jó marad, hacsak lipid oxidáció nem történik. (Jeremiah, L. E., 2019)

3.5. Differenciális pásztázó kalorimetria (DSC)

A Differenciális Pásztázó Kalorimetria a legnépszerűbb termoanalitikai technika. A módszer az anyagátalakulási folyamatok hőáramának (a mintában bekövetkező hőenergia -fejlődés vagy - elnyelődés sebességének) a mérését teszi lehetővé a hőmérséklet, ill. az idő függvényében. A mért hőáram az átalakulási folyamat endoterm vagy exoterm voltának, ill. a hőkapacitás változásának a függvénye. (Farkas, J., 1994). A vizsgálandó minta a referencia mintától eltérő viselkedése szolgáltatja a termikus tulajdonságok meghatározását. (Menczel, J. D. & Prime, R. B., 2009)



6. ábra: Hőáram DSC keresztmetszeti rajza (Mohamed, A., et al., 2016 nyomán)



7. ábra: DSC görbe termodinamikai paramétereit (Demetzos, C., 2008 nyomán)

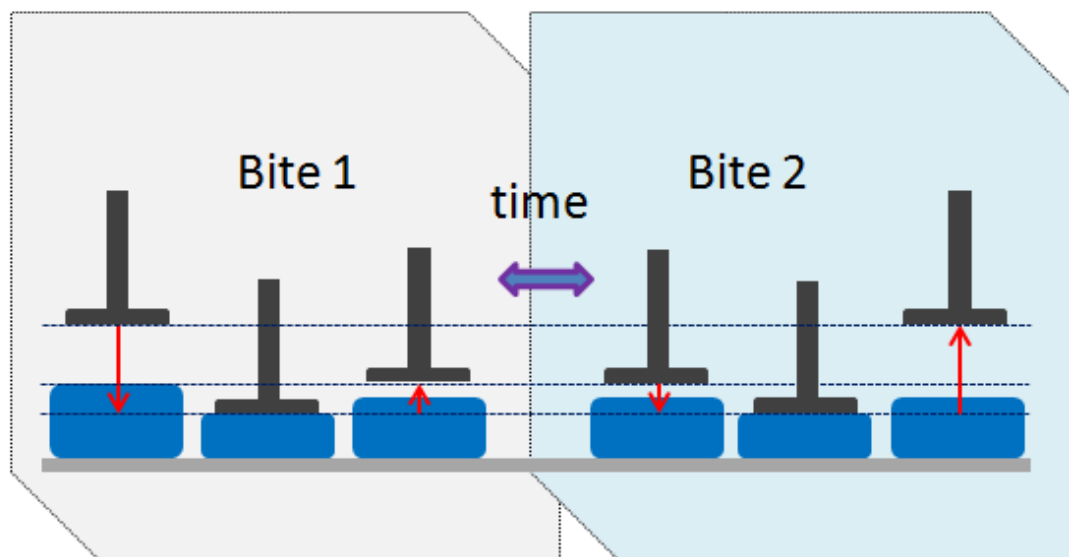
A DSC azt a hőáramot méri, ami a mintában halad (7. ábra), vagy amit a minta bocsát ki. Így az állandó nyomású (C_p) térben vizsgált minta hőkapacitás kiszámítható. Ebből azt számolhatjuk tovább, hogy mennyi hőt kell közölnünk a mintával, hogy az állandó nyomáson lévő minta hőmérséklete 1°C-al megemelkedjen. A hőkapacitást legtöbbször normalizálják, vagyis elosztják a grammok számával, ezáltal megkapjuk, hogy mennyi hőt kell közölnünk a mintával ahhoz, hogy 1 gramm mennyiség hőmérsékletét 1°C-al megemeljük. (Demetzos, C., 2008)

3.6. Állomány profil vizsgálat (Texture Profile Analysis - TPA)

Az állomány az élelmiszerek olyan tulajdonságaiért felel, amit az ujjunkkal, nyelvünkkel, szápadlásunkkal és a fogainkkal érzünk. (Stable Micro Systems,). Az élelmiszerek szerkezetének változása különböző jellemzőkkel kifejezhető ki, úgy, mint a keménység, tapadósság, rugalmasság, szálasság, rághatósság, kenhetőség, viszkózusság, törékenységi stb. (Brandt, M. A., et al., 1963)

A mérés megkezdésekor mérőfej elkezd a mérendő minta felé közeledni. Amint eléri a minta felszínét, az eszköz automatikusan leméri a magasságot és ez alapján kiszámolja a kiválasztott deformáció eléréséhez szükséges összenyomást és beállítja a sebességet. Ahogy elérte a

megfelelő deformáltságot a minta, akkor a mérőfej visszaáll abba a pozícióba, ahol hozzáért először a mintához és beállítástól függően ebben a pozícióban várakozik. Ez után az eszköz ismét leengedi a mérőfejet a megadott deformáció magasságáig. Ennek végeztével a mérőfej teljesen felemelkedik az alap pozíciójába. (Internet 7.)



8. ábra: TPA mérőfej mozgása a mérés során (Internet 7.)

A műszerbe beépített érzékelők feljegyzik az erőhatásokat, amik a minta deformációjakor jönnek létre. Az erő, a távolság és az eltelt idő adatait összegyűjti, és egy grafikonon ábrázolja, amit ha elemzünk, az leírja a mintánk állományát. (Stable Micro Systems,)

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. Kísérlethez használt termékek

A kísérletem elvégzéséhez kereskedelmi forgalomban kapható sajtokat választottam.

3.1.1 Trappista sajt

A Trappista sajt tehéntejből tejsavbaktérium-tenyészet, oltóenzim és kalcium-klorid, kálium- vagy nátrium-nitrát hozzáadásával készített, sózott, érlelt, jellegzetes érzékszervi tulajdonságú, félkemény, erjedési lyukas sajt. Zsírtartalom a szárazanyagban minimum 45 m/m%. Magyar Élelmiszerkönyv 2-51/06



9. ábra: Trappista sajt (forrás: Internet 2.)

3.1.2. Light Trappista sajt

A trappista sajt mellé választottam a zsírszegény formáját, egy Light Trappista sajtot (későbbekben: light). Ebben sokkal kevesebb zsír található, vagyis a fehérje tartalma sokkal magasabb és a fehérjék nagy szerepet játszanak a fagyasztás után kialakult állománynál.

A csomagoláson feltüntetett adatok alapján a zsír a szárazanyagban min. 10 m/m%.



10. ábra: Light Trappista sajt (forrás: Internet 3.)

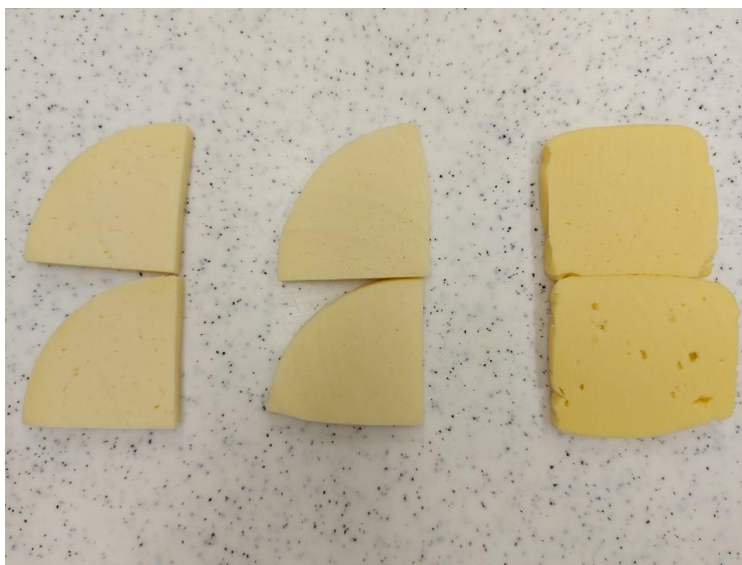
3.1.3. Gouda sajt

A harmadik vizsgált sajtmintám a Gouda (11. ábra) mert a Trappista mellett ez is a félkemény sajtok közé tartozik. Későbbekben gouda-ként fogok hivatkozni rá.

A Gouda érlelt, félkemény sajt. A sajtészta fehér, sárgába hajló, ujjal benyomva kemény, vágásra megfelelő, a sajtészta egészében több-kevesebb, gombostű méretű erjedési lyuk található. A sajt tehén, vagy bivalytejből, vagy ezek keverékéből készülhet. (Codex Alimentarius CXS 266-1966)



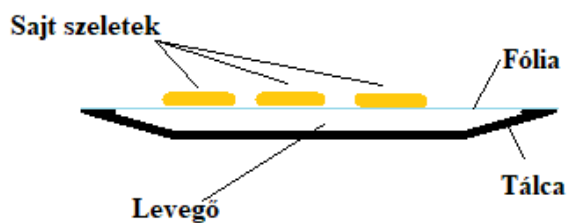
11. ábra: Gouda sajt (Internet 4.)



12. ábra: Fagyasztáshoz felszeletelt sajtok. Balról jobbra: trappista, light, gouda. (Forrás: saját fénykép)

3.2. Kísérlet felépítése

A kiválasztott sajtokat hűtőszekrényben tároltam, majd a kísérlet megkezdésekor vettem ki őket. A először mindhárom sajt fajtából 12 mm vastag szeleteket vágtam. A lassú és gyors fagyasztáshoz előkészített tálcákra fajtánként 2 szelet sajtot helyeztem (13. ábra).



13. ábra: Sajt szeletek a fóliával lefedett tálcán

A fóliázásra azért volt szükség, hogy a minták ne érintkezzenek egyéb másik testtel (tálcával), ami befolyásolni a hűtési folyamatot és a hőmérsékletmérést.

Mindegyik sajtszeletbe két mérőszenzort szúrtam, az egyiket a sajt közepébe maghőmérséklet méréshez, a másikat a felszíne alá, felszíni hőmérséklet méréséhez. Ez után bekerült az egyik tálca a gyorsfagyasztó szekrénybe (-33°C), a másik pedig a hagyományos fagyasztószekrénybe (-24°C). Amint a minták elérték a célhőmérséklet a szeleteket fajtánként és fagyasztási módonként zacskókba tettem, amit fóliahegesztővel lezártam és hagyományos fagyasztószekrénybe (-18°C) helyeztem.

Amíg a mintáim fagyasztási folyamatban vettek részt, addig friss sajtokból a TPA méréshez fajtánként 12 mm átmérőjű korongokat készítettem egy cső alakú vágóeszközzel. Az érzékszervi bírálathoz pedig kockákat vágtam össze.

14 napos fagyasztva tárolás után hűtőszekrénybe raktam az egyik gyors mintákat és 24 órán át hagytam őket felengedtetni. Utána szintén vágtam 12 mm-es hengereket, elvégeztem a fizikai méréseket, az érzékszervi vizsgálatához kockákat vágtam össze. Végül a 35. napon megismételtem ugyan ezeket a műveleteket.

3.2. Fagyasztáshoz használt eszközök

3.3.1. Statikus fagyasztószekrény

A lassú fagyasztáshoz statikus fagyasztószekrényt használtam. A hőmérsékletet -24°C -ra állítottam be.



14. ábra: Statikus fagyasztószekrény (forrás: saját kép)

3.3.2. Áramló levegős fagyasztószekrény

A gyorsfagyasztáshoz áramló levegős fagyasztószekrényt használtam, amiben a légmozgást 3 m/s-ra állítottam be, a hőmérséklet pedig -33°C -ra.



15. ábra Áramló levegős gyorsfagyasztó szekrény

3.3. Hőmérsékletváltozás regisztrálása

A fagyasztás közben a sajtminiók fagyásgörbéjét E-Val ProTM (Ellab Validation & Monitoring Solutions, Hillerød, Dánia) termoelemes rendszerrel (16. ábra) vettem fel, amelyhez STC32-TF T típusú szenzorokat használtam. Mindegyik mintába két szenzort szúrtam, az egyiket a sajtszelet középpontjába, egyet pedig a felszíne alá. Így egyszerre lehetett regisztrálni a maghőmérsékletet és a felületi hőmérsékletet.



16. ábra: E-Val Pro műszer (Internet 5.)

3.4. pH mérés

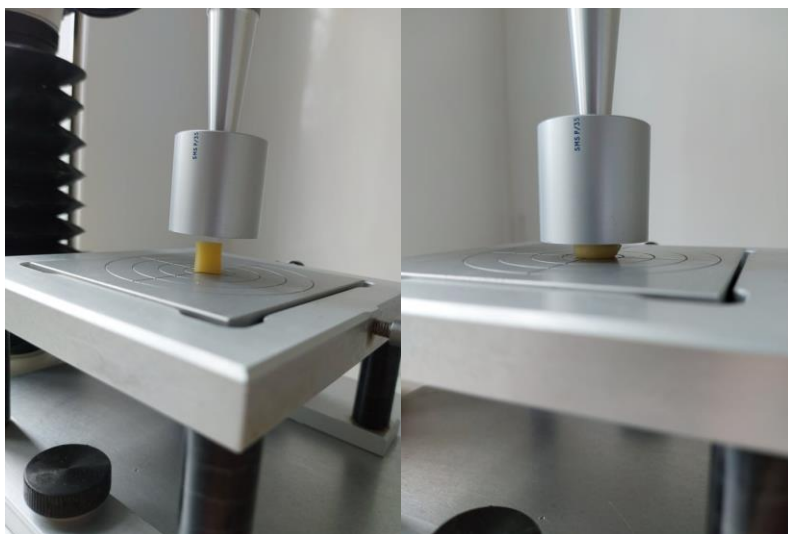
Ahhoz, hogy a sajtok pH változását meg tudjam vizsgálni, testo 206-pH2 szűrőelektródás műszert (17. ábra) használtam. Az elektródát a sajt mintákba szúrtam és megvártam, amint a pH beáll egy stabil értékre és feljegyeztem a kiírt pH-t és hőmérsékletét. Így 3 párhuzamos mérést végeztem mindegyik sajt fajtánál, a mérést ugyanígy megismételtam a 2 hetes, majd az 5 hetes fagyasztva tárolás után is.



17. ábra: testo 206-pH2 pH mérő készülék (Internet 6.)

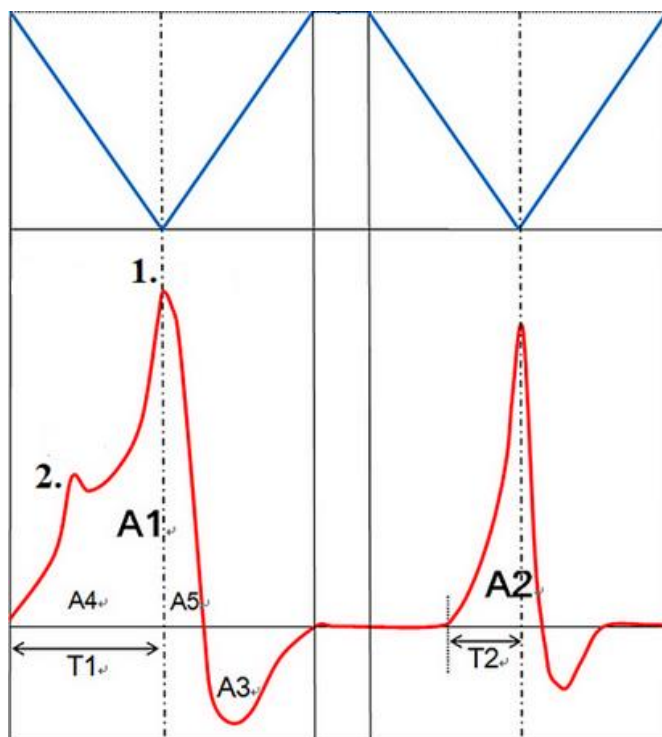
3.5. Műszeres állományvizsgálat

A sajtok állományjellemzőinek meghatározásához SMS TA.XT. Plus típusú állománymérő készüléket használtam (18. ábra), amihez TPA módszert alkalmaztam. Az eszközre egy 20 mm átmérőjű henger alakú mérőfej lett felszerelve. A vizsgálat elvégzéséhez a 12 mm vastag sajtszeletekből 12 mm átmérőjű hengereket vágtam ki. A műszerben beállítottam, hogy a mérőfej 15 mm-re emelkedjen fel és 70%-ig ereszkedjen le. Mindegyik sajtajtából 15 mintát mértem, a méréseket háromszor végeztem el, egyszer fagyasztás előtt, hogy legyen referencia érték, majd kéthetes fagyasztva tárolás és hűtőszekrényben való felengedtetés után, végül az 5 hetes fagyasztva tárolás és hűtőszekrényben való felengedtetés után.



18. ábra: 70%-ig összenyomott sajtkorong (forrás: saját kép)

Az 1. pont a maximális erőt jelöli (19. ábra) a minta első összenyomásánál. Ez adja a keménységi értéket. A 2. pont a keménység előtti csúcsokat jelöli. Az A3-al jelölt terület értéke a tapadósságot jelenti. A második és első összenyomás legnagyobb deformációjáig eltelt idő hányadosával ($T2/T1$) a rugalmasságot számíthatjuk ki. A második és első összenyomás legnagyobb deformációjáig mért területek hányadosával ($A2/A1$) pedig a kohezivitást kapjuk meg. Ha a kohezivitást megszorozzuk a keménység értékével, az megadja nekünk a gumisságot. Végül a gumisság és a rugalmasság szorzatával kiszámolhatjuk a rághatóságot. (Internet 7.)



19. ábra: Állományvizsgálat sematikus ábrája (Internet 7.)

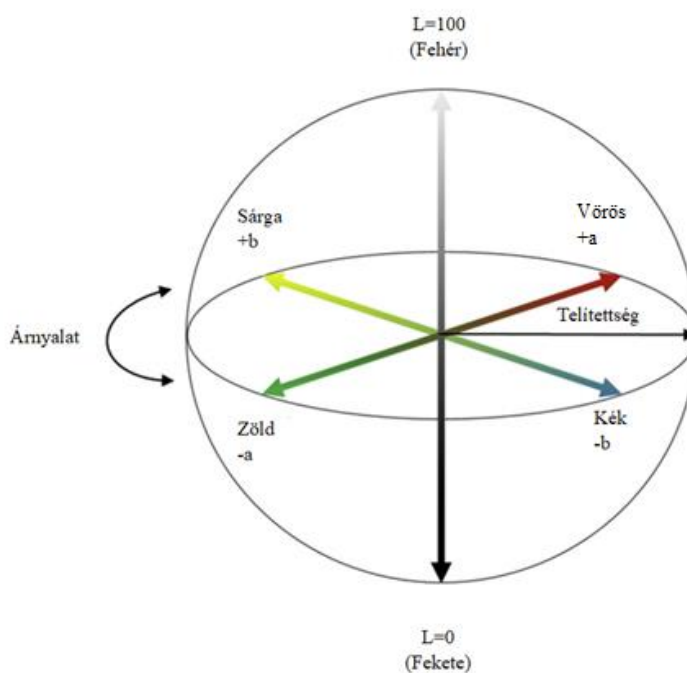
3.6. Színmérés

A fagyasztás során bekövetkezett színváltozást Chroma Meter CR-400 (20. ábra) műszerrel vizsgáltam meg. A mérések előtt elvégeztem a műszer kalibrálását a hozzá tartozó fehér etalon segítségével. Az egyes sajtajtákon 5 párhuzamos mérést végeztem, először a még le nem fagyasztott mintákon, majd később a 3 és 5 hetes fagyasztva tárolás utániakon. A műszer érzékelőjét a sajtok felületére helyeztem, próbáltam olyan helyre tenni, ahol nincs erjedési lyuk a sajtban, ami téves adatokhoz vezetett volna. Az eredmények CIELAB színrendszerben kerültek feljegyzésre.



20. ábra: Chroma Meter CR-400 műszer (Internet 8.)

A CIELAB vagy CIE L^* a^* b^* színrendszer a színek kapcsolatát jelzi három tengelyen (21. ábra). L jelenti a világosságot 0-100-ig. Az a^* érték mutatja meg a vörös-zöld színezettséget, a b^* sárga-kék színezettséget. Ezen tengelyek szöge adja meg a színárnyalatot. A középpont semlegest, vagyis színtelent jelenti. Az innen kiinduló nyíl mutatja a színtelítettséget. (Ly, B. C. K., et al., 2020. nyomán)



21. ábra: CIELAB színrendszer

A színínges különbség értékek bizonyos tartományai megfeleltethetők az emberi szem által érzékelt különbségek mértékének (2. táblázat).

2. táblázat: színínger különbségek (Lukács, Gy., 1982 nyomán)

Színkülönbség (ΔE^*) értéke	Szemünk által érzékelt különbség
0 - 0,5	nem észrevehető
0,5 - 1,5	alig észrevehető
1,5 - 3,0	észrevehető
3,0 - 6,0	jól látható
6,0 - 12,0	nagy

3.7. Differenciális pásztázó kalorimetria

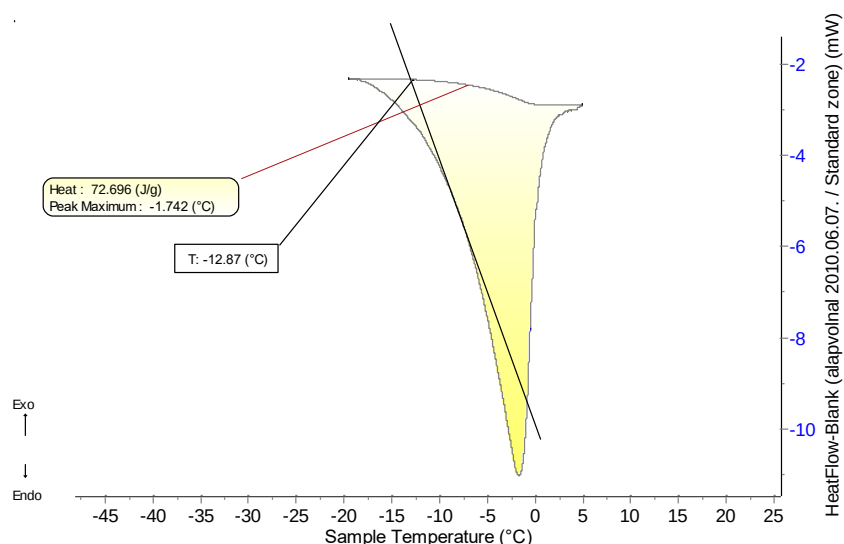
A sajt minták intenzív oladásának kezdeti hőmérsékletét és a ki nem fagyasztható víztartalmát Setaram DSC 131 evo típusú műszer (Setaram, Caluire, Franciaország)(22. ábra) segítségével határoztam meg. A sajt mintából 25-30 mg-ot mértem ki analitikai mérlegen és a tömegét feljegyeztem, utána a 100 μ l-es alumínium mintatartóba raktam, a referencia mintához pedig üres mintatartót használtam. Mintánként 3 párhuzamos mérést végeztem.



22. ábra: Differenciál pásztázó kaloriméter (forrás: saját kép)

A műszert Calisto Acquisition szoftverrel (Setaram, Caluire, Franciaország) vezéltem. Kiválasztottam, hogy milyen mérési folyamatot végezzen el: 30°C-ról -50°C-ra hűtse le -5°C/s alatt, majd innen +2°C/s sebességgel fűtse fel ismét 30°C-ra. A hőmérsékletváltozás miatt lejátszódó exoterm vagy endoterm reakciók alapján a program egy görbét ábrázol, aminek a kiértékelésével a kifagyasztható és a ki nem fagyasztható víztartalmat lehet meghatározni.

Az eredményeim kiértékeléséhez Calisto Processing 7.6 szoftvert használtam (23. ábra). A fűtési szakaszban felvett termogramokra illesztettem tangenciális szigmoid típusú alapvonalat, így a létrehozott görbe alatti terület segítségével megállapítottam a minta felolvasáshoz szükséges entalpiaváltozás (ΔH_{olv} , J/g) értékét. Továbbá az intenzív oladási szakaszra illesztett egyenes és az alapvonal metszéspontja által megállapítottam az intenzív oladás kezdeti hőmérsékletét (T_{olv} , °C).



23. ábra: Friss gouda hőáramgörbéje (forrás: saját kép)

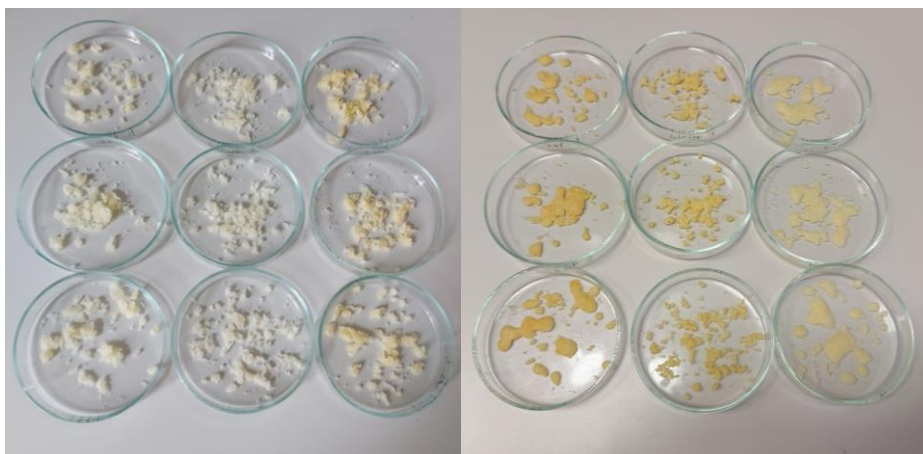
A ki nem fagyasztható víztartalmat az alábbi egyenlet (Zeke, I. Cs., 2015) segítségével számoltam ki:

$$UFW\% = 100 - \left[\frac{\Delta H_{minta}}{\Delta H_{víz} \cdot \frac{W}{100}} \cdot 100 \right]$$

Ahol:	UFW%	ki nem fagyasztható víztartalom (% az összes víztartalomra vonatkoztatva)
	W	víztartalom (g/100 g)
	ΔH_{minta}	a minta olvadáshője, entalpia különbsége (kJ/kg)
	$\Delta H_{víz}$	a víz olvadáshője: (330 kJ/kg)

3.8. Szárazanyag tartalom meghatározás

A szárazanyag tartalom meghatározásához a sajt fajtákból kis mennyiségeket összeaprítottam. A sajtokat Petri-csészére rakva 1,5-1,8 g közötti mennyiségeket mértem ki analitikai mérlegen. Minden minta esetében 3 párhuzamos mérést végeztem (24. ábra). Az így előkészített mintákat szárítószekrénybe helyeztem 105°C-ra és tömegállandóságig szárítottam. Legközelebb az 5 hetes fagyasztva tárolás után ismételtam meg a folyamatot.



24. ábra: Petri-csészére helyezett sajtok. Balról jobbra az oszlopok: trappista, light, gouda
(forrás: saját kép)

3.9. Érzékszervi vizsgálat

Az érzékszervi vizsgálat elvégzéséhez a referencia mintákhoz 15 laikus bírálót kértem meg. 5 hetes fagyasztva tárolás utáni bírálatot szintén 15 ember végezte. Mindkét alkalommal profilanalízissel vizsgálták a sajtokat. Annak érdekében, hogy a bírálók ne tudják, hogy milyen sajtokat kóstolnak, illetve lettek-e fagyasztva, ezért a minták háromjegyű számmal számkódolva lettek, például Friss Trappista = 111. A kódolás alapját az 3. táblázat tartalmazza. A bírálók a sajtminták tulajdonságait az 1. mellékletben található bírálati lapon feltüntetett szempontok alapján értékelték 0-10 pontig terjedő pontozással. 0 pont jelentette az érzékszervi tulajdonság egyik (pl. matt), 10 pont a másik végétét (pl. fényes). A bírálók véleményét 10 szempontban kérdeztem ki, végül 11. kérdésként megkérdeztem, hogy mi az összehasonlásuk az adott mintákról.

3. táblázat a sajtok számkódolásáról profilanalízishez

Első számjegy	Sajt fajta	Második számjegy	Fagyasztás módja	Harmadik számjegy	Fagyasztva tárolás
1	Trappista	1	Nincs	1	Nincs
2	Gouda	2	Lassú	2	2 hét
3	Light	3	Gyors	3	5 hét

4. Kísérleti eredmények és értékelésük

4.1. A különböző sajtminták fagyásgörbéinek összehasonlítása

A lassú és gyorsfagyasztás során mért idő és hőmérsékleti adatok alapján vonaldiagramot készítettem (25. és 26. ábra)

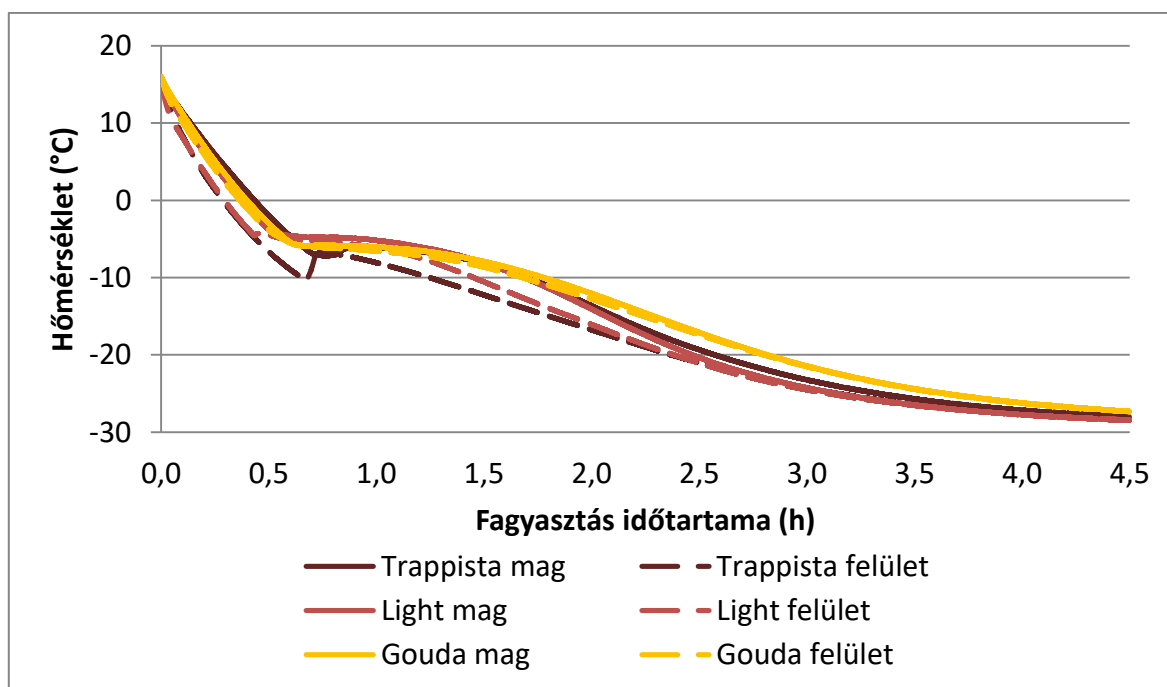
A lassú fagyasztás (25. ábra) kezdetén az első fél órában mindegyik sajt felületi és maghőmérséklete monoton csökkenést mutat.

A felületi hőmérsékleti görbéket figyelve azt tapasztalhatjuk, hogy a Trappista sajt felületi hőmérséklete $-10,4^{\circ}\text{C}$ -ig folytatta a csökkenést, majd ugrásszerűen megnövekedett $3,6^{\circ}\text{C}$ -al. Vagyis a felület túlhűlt. A növekedés után tovább csökkent a hőmérséklet. Light és Gouda sajtoknál nem tapasztalható túlhűlés fagyasztás során.

A maghőmérsékleteket vizsgálva az látható, hogy a Trappistánál túlhűlés van jelen $-6,5^{\circ}\text{C}$ környékén, viszont időben később, mint a felületi hőmérsékletnél. A Light és Gouda sajt esetében a felületi hőmérséklet változása követte a maghőmérséklet változást.

Összességében elmondható, hogy a fagyasztási folyamat első órája után mindegyik hőmérsékleti görbe monoton csökkenést folytat. Elvántan a felületek hőmérséklete gyorsabban csökkent, mint a maghőmérséklet. Az idő előrehaladtával a felületi és maghőmérsékletek különbsége a Trappistánál a legnagyobb, ezt követi a Light sajt, végül a Gouda. A Trappista felületi és maghőmérséklete a többi sajtajtához képest lassabban kezd el kiegyenlítődni, a fagyasztási folyamat 4. órájában ér össze a két görbe. A Light sajt maghőmérséklete a fagyasztás harmadik órájában éri el a maghőmérséklet értéket. A Gouda sajt két fagyasztási görbéje már 2,5 óra előtt kiegyenlítődik.

A fagyasztás 3 szakasza (López-Leiva, M. & Hallström, B., 2003) remekül megfigyelhető a diagramon. Előhűtési szakasz a mérés 1. órájáig, fagyási szakasz 1.-től 1,5 óráig, utána pedig az utóhűtési szakasz látható.



25. ábra: A különböző sajtminák fagyásgörbéi a lassú fagyasztás során

A lassú fagyasztás mellett a gyorsfagyasztás adatairól is készítettem hőmérsékleti görbét (26. ábra).

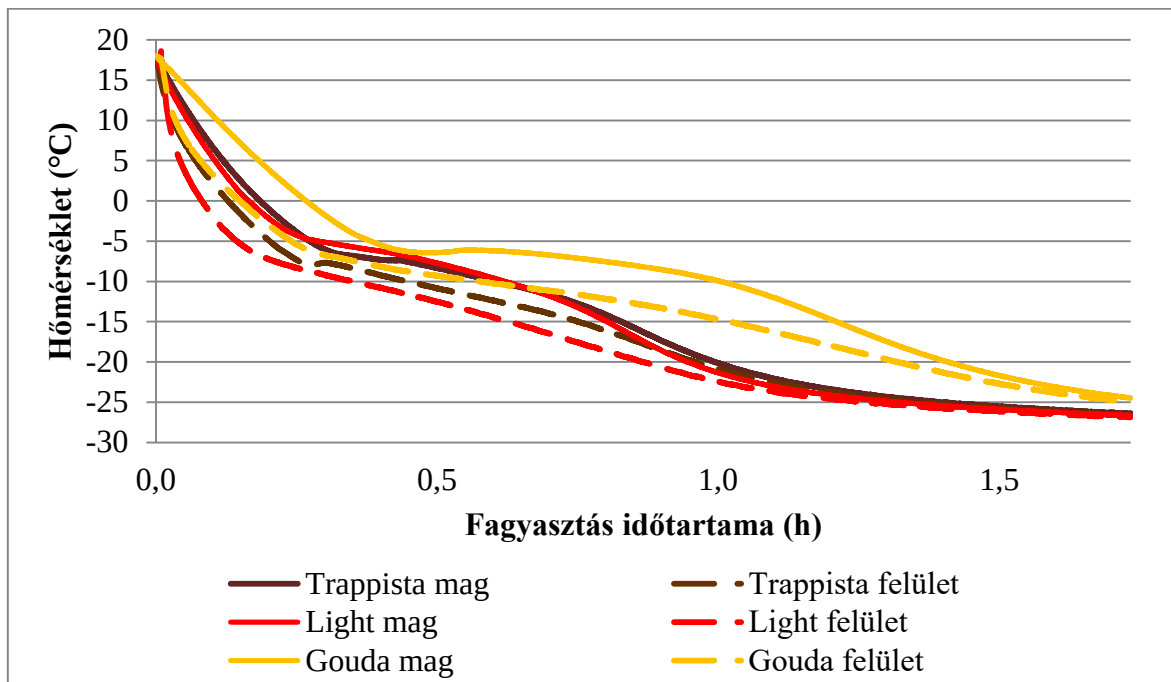
A felületi- és a maghőmérsékleti görbék jobban elkülönülnek egymástól, mint lassú fagyasztás esetében.

Trappista felülténél szintén tapasztalható túlhűlés, de a lassú fagyasztáshoz képest sokkal kisebb mértékben, mindösszesen 0,4°C-os. A Light és Gouda sajtminták felületi hőmérséklete a fagyasztás során folyamatosan csökken.

A lassú fagyasztással eltérően a Trappista sajt maghőmérséklete folyamatosan csökken, a 15. és 25 perc között a görbe enyhén laposodik. A Light sajtnál a hőmérséklet csökkenés folyamatos. A Gouda maghőmérsékleti görbéje a lassú fagyasztáshoz képest változik, itt megfigyelhető 0,4°C-os túlhűlés.

Elvártan a nagy légsebesség és az alacsonyabb hőmérséklet miatt a fagyasztási folyamat gyorsabb. Példaképpen a Trappista és a Light felületi és maghőmérsékleti görbéi 1 óránál, a Goudaé a 80. percben lépi át a -20°C. A lassú fagyasztásnál ez 2,5 óra után következett be.

Mint a lassú fagyasztás esetében, itt is látható fagyasztás 3 szakasza, viszont a szakaszok nem különülnek el egymástól élesen. A Trappista és a Gouda maghőmérsékleténél a fagyasztási szakasz röviden, a Light esetében nem figyelhető meg.



26. ábra: A különböző sajtminták fagyásgörbéi a gyorsfagyasztás során

4.2. A sajtok pH-jának változása a fagyasztás-felengedtetés során

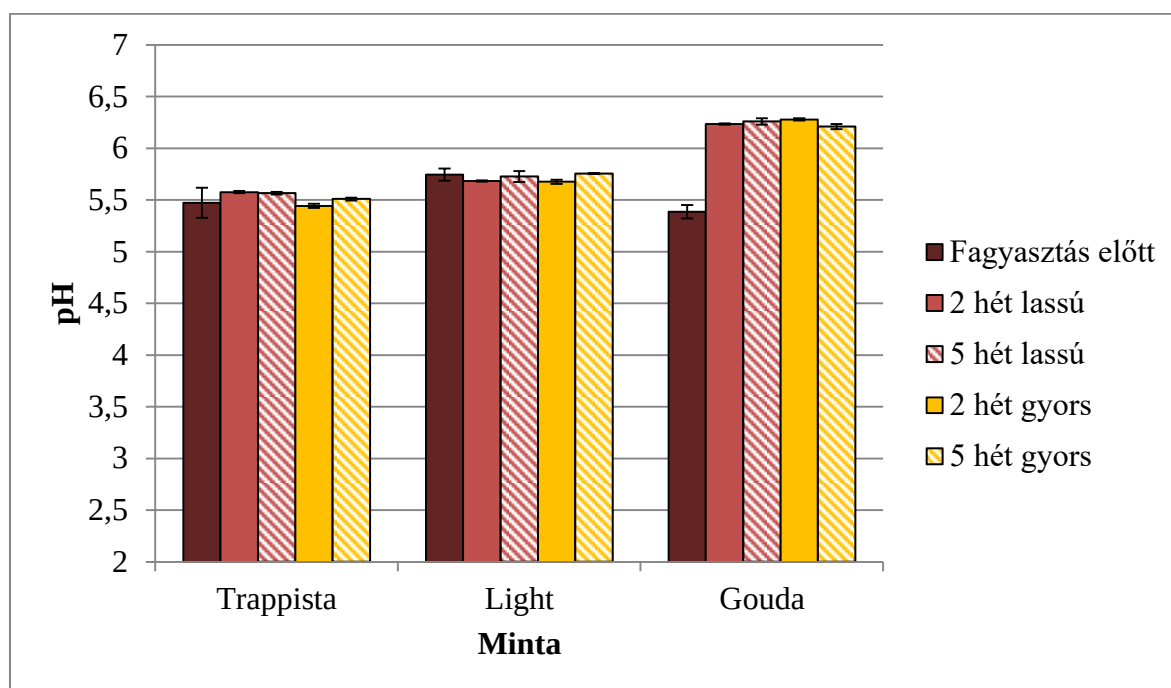
A sajtminták pH értékei és azok változásáról oszlopdiaagramot (27. ábra) készítettem.

A friss Trappista sajtminták pH-ja átlagosan 5,47 lett. A tárolás során előbb egy enyhe növekedés, majd csökkenés látható mindkét fagyasztási módszer hatására, a változás nem számottevő mértékű

A Light sajtnál sincs számottevő változás, lassú fagyasztás utáni tárolás esetében a 2. hétre csökkent, majd ugyanazon értéken maradt. A gyors fagyasztásnál nem változott.

A Gouda sajt kiindulási pH értéke 5,4 volt. A lassú fagyasztás után 2 hétig tárolt minta pH-ja körülbelül 0,9-el megnőtt és az 5. hétre már nem változott. A gyorsfagyasztás hatására szintén megemelkedett a pH közel akkor mértékben, mint lassú fagyasztásnál, viszont az 5. héten mért pH a 2. héthez képest kissé csökkent.

Megfigyeltem, hogy a Trappista és a Light sajt esetében a fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatására nem következett be számottevő pH változás. Kísérletem során azt is megfigyeltem, hogy a Gouda sajt pH-ja jelentősen emelkedett mind a fagyasztást követő 2. hétre mind a lassú, mind a gyorsfagyasztás hatására.

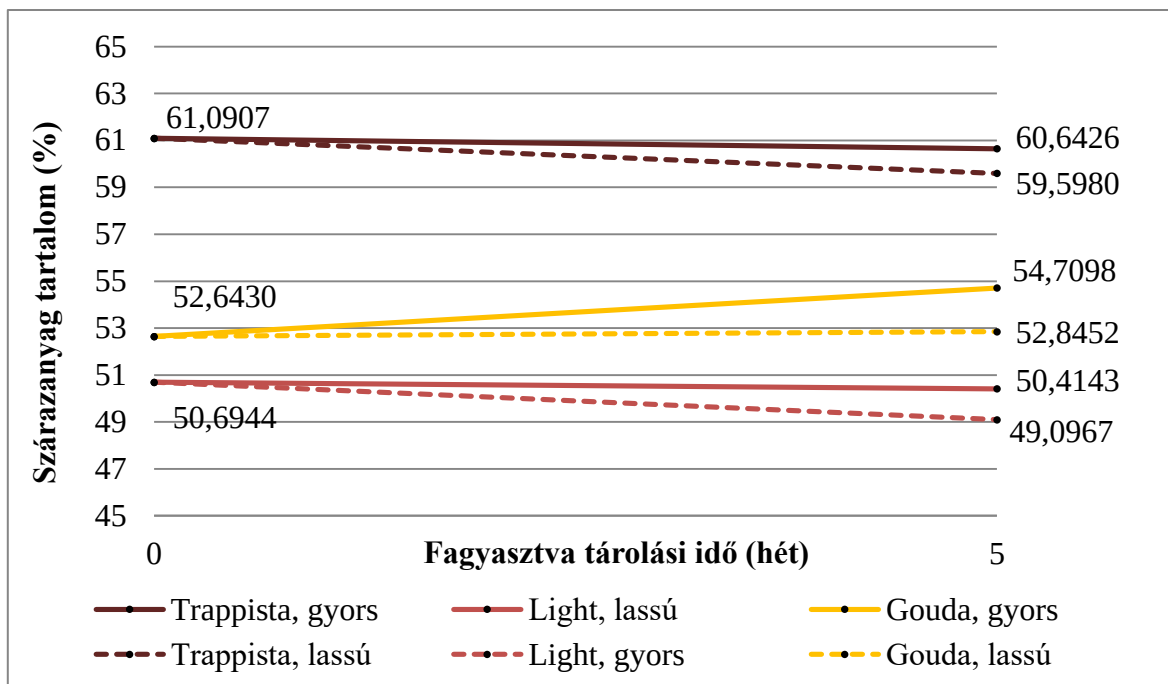


27. ábra: Sajtok pH változása fagyasztva tárolás alatt

4.3. Sajtok szárazanyag tartalmának vizsgálata fagyasztás előtt és után

Kutatásomban a friss, illetve a különböző módon fagyasztott minták szárazanyag-tartalmát vizsgáltam az 5. héten a felengedtetést követően (28. ábra)

Fagyasztást megelőzően a Trappista sajt rendelkezett a legnagyobb szárazanyag-tartalommal, majd ezt követte a Gouda és a Light.



28. ábra: Sajtok szárazanyag-tartalmának változása fagyasztva tárolás alatt

Fagyasztás hatására kisebb ingadozás figyelhető meg a szárazanyag-tartalomban Trappista és Light esetében a körülbelül 1%-al csökkent a szárazanyag tartalom, viszont a Goudánál, a többitől eltérően növekedet majdnem 2%-al.

A szakirodalmak minimum 56%-os szárazanyag tartalmat adnak meg zsíros Trappista sajtnak, a méréseim alapján a mintám 61%-os szárazanyag tartalommal bír és a fagyasztás hatására sem lépi át a minimum értéket. Gouda sajtnál a megadott minimum érték 30%, fagyasztás és tárolás után is határértéken felül maradt.

Fontos megjegyezni, hogy a minták csomagolás nélkül kerültek fagyasztásra, csak fagyasztást követően csomagoltam őket.

4.4. Fagyasztás hatására kialakuló színváltozás vizsgálata

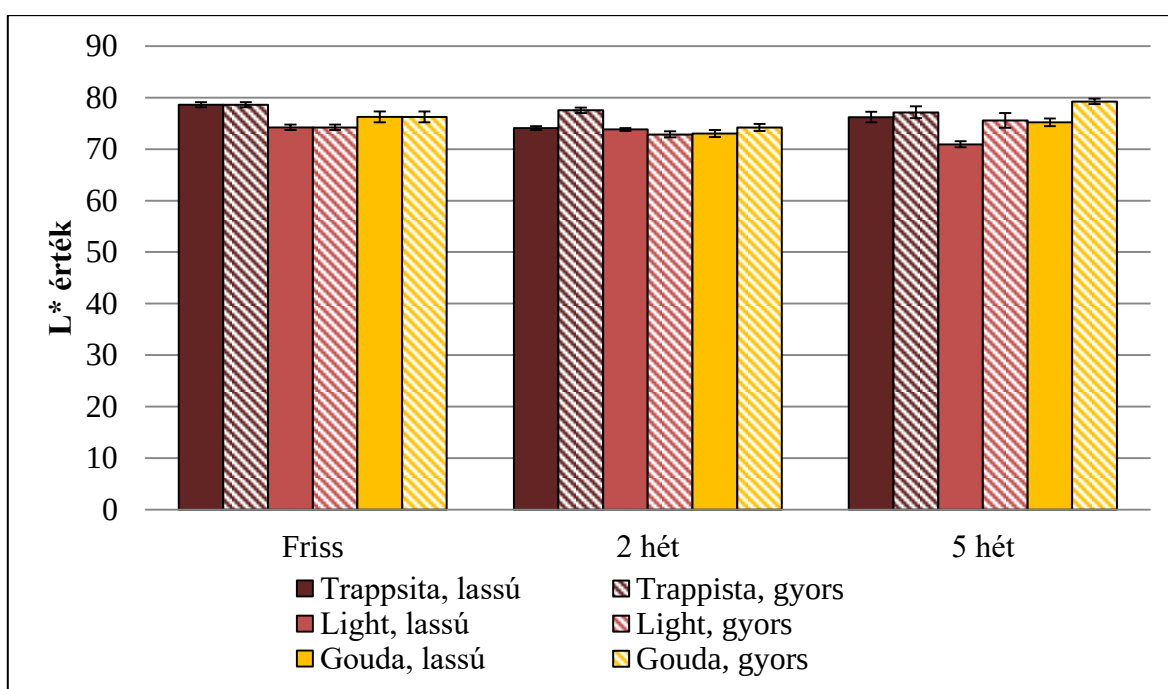
A következő szempont, ami alapján vizsgáltam a fagyasztási módszereket a sajtoknál, az a színváltozás (29., 30., 31. ábra) volt.

A lassú fagyasztás után 2 hétig fagyasztva tárolás után vizsgált Trappista sajt L^* értéke (29. ábra) csökkent, az 5 hétre ehhez képest megemelkedett, de a friss sajtnál mért értéket nem érte el. A gyorsfagyasztott minta L^* értéke is csökkent 2 hét után és ezt az értéket az 5. héten is megtartotta.

A Light sajt L^* értéke szintén csökkent, az 5 hetes tárolás során csökkent a lassú fagyasztott minták esetében. Ezzel ellentétben a gyorsfagyasztott minták L^* értéke a 2. hétre csökken, viszont az 5. hétre a frissnél is nagyobb értéket visz fel.

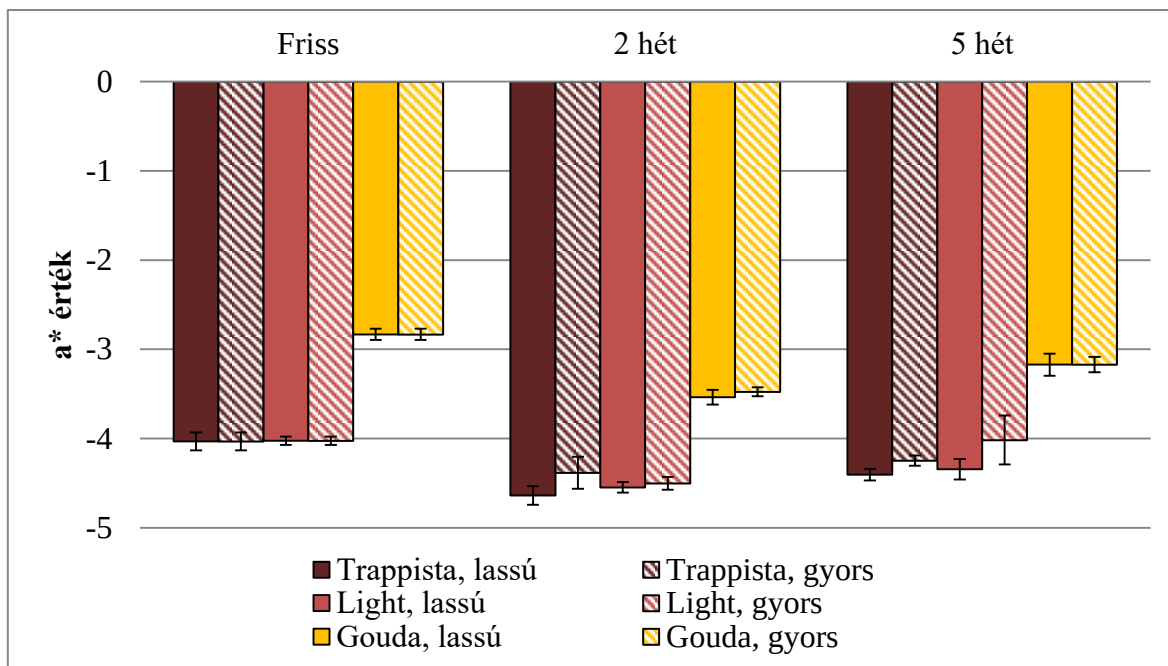
A lassú fagyasztott Gouda sajtok 2 hét után vesztek az L^* értékükből 2 hetes fagyasztva tárolás során. Az 5. hétre az érték növekedett, de a frissnél mért értéket nem haladta meg, viszont a gyorsfagyasztott minták L^* értéke nagyobb lett a nem fagyasztott mintáknál 5 hét után.

Tehát összefoglalva elmondható, hogy a legtöbb sajt L^* értéke csökkent a fagyasztás és fagyasztva tárolás hatására, ami azt jelenti, hogy a minták sötétebbé váltak.



29. ábra: L^* értékek a fagyasztás során

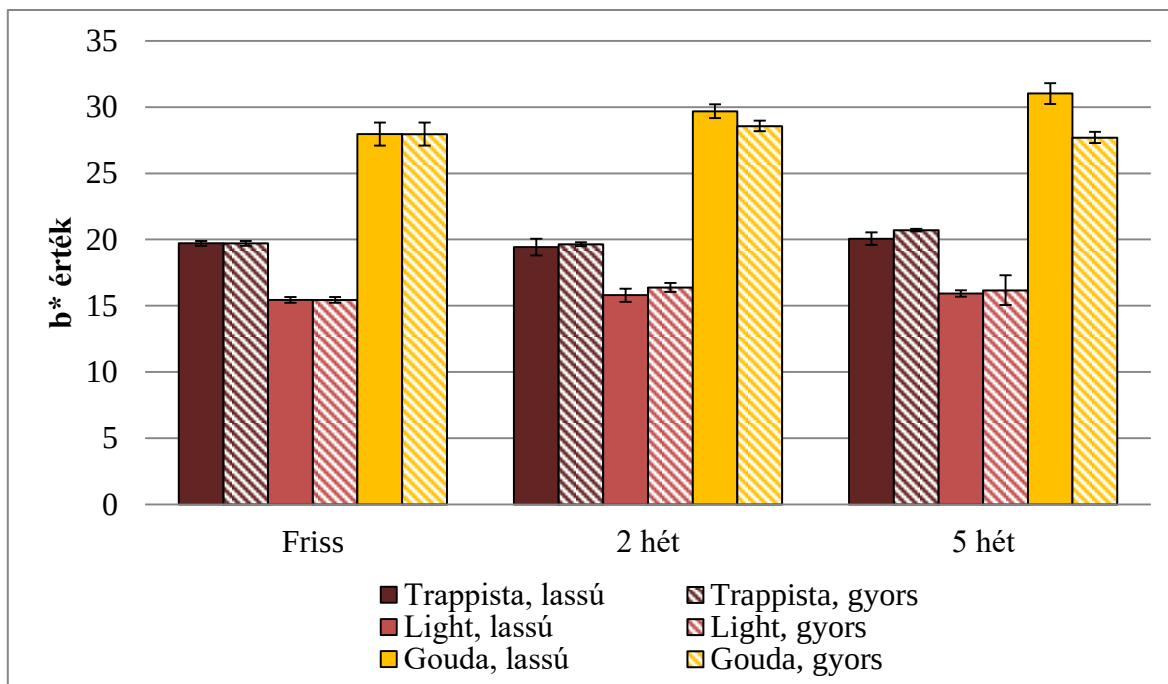
A sajtok a^* értéke (30. ábra) a negatív tartományban található, ami azt jelenti, hogy enyhe zöld színezettel rendelkeznek a fagyasztás előtt és azt követően is. Az a^* érték mindegyik sajt és mindegyik fagyasztási módszer esetében azt a tendenciát mutatja, hogy a fagyasztva tárolás során a 2. héten mért adatok a frisshez képest nagyobbak, viszont az 5. hétre csökkennek kisebb-nagyobb mértékben, de a friss értékét nem érik el. A növekedett a^* érték azt jelenti, hogy a sajt színe a még zöldesebb irányba tolódott el.



30. ábra: A sajtok a* értéke fagyasztva tárolás alatt

A sajtok b* értéke (31. ábra) a pozitív tartományban található, ami azt jelenti, hogy sárga színezettel rendelkeznek a fagyasztás előtt és azt követően is.

A Trappista sajt b* értéke mindkét fagyasztási módszer után tárolt minták esetében a 2. hétre csökkent, majd az 5. hétre a frissnél is nagyobb értékre nőtt. A Light sajt b* értéke 2 hét után mindkét módszernél nőtt és az 5. hétre megtartotta ezt az értéket. A Gouda sajtnál a többitől eltérően a lassan fagyasztott minta b* értéke folyamatosan nőtt a lassú fagyasztás esetében, a gyorsfagyasztott pedig a 2. hétre növekedett, majd az 5. hétre a frissnél is kisebb értékre csökkent. A b* érték növekedése a sajtminák sárga színezetének erősödését jelenti.

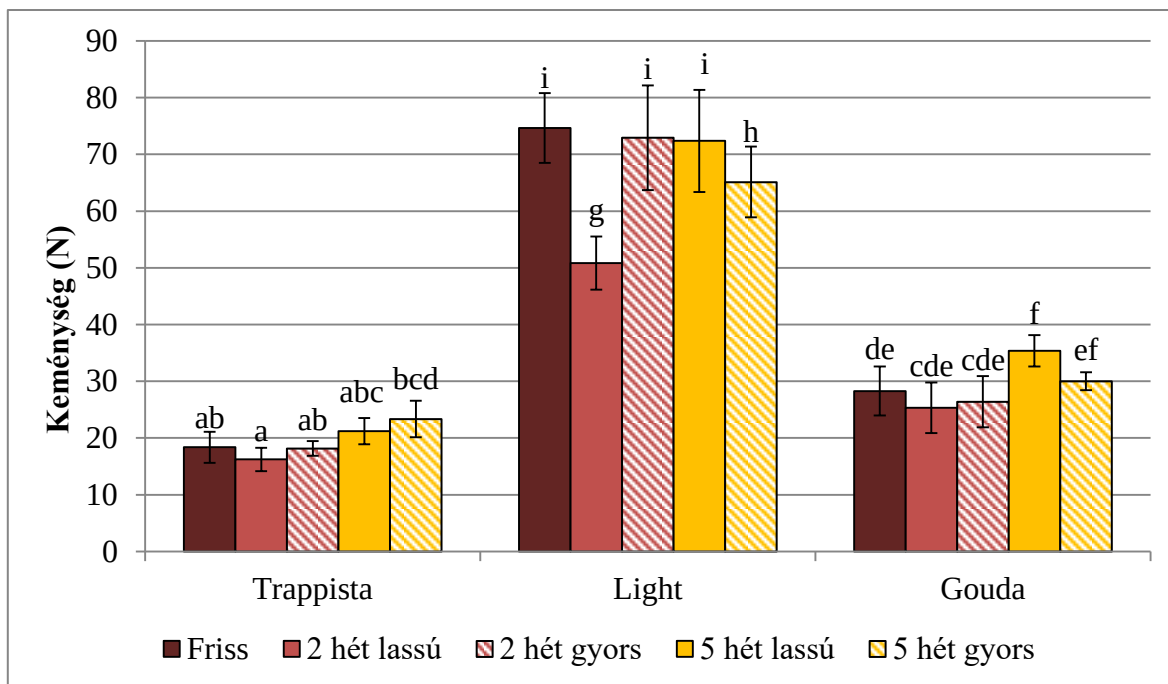


31. ábra: A b* értékek változása

A szakirodalmakkal hasonlóan az általam mért adatok alapján összességében elmondható, hogy a sajtminták nem mutatnak nagymértékű változást az Lab* színértékekben sem a lassú, sem a gyors fagyasztási módszer esetében a fagyasztva tárolás után. Továbbá a sajtok különböző zsírtartalma sem áll összefüggésben a színértékek változásával.

4.5. A sajtminták állományváltozása fagyasztás hatására

A sajtoknál bekövetkezett állományváltozást a friss sajtoknál, 2 hetes és 5 hetes fagyasztva tárolás során vizsgáltam meg. A műszeres állományvizsgálat által mért adatokból kiszámoltam a keménységet (32. ábra), gumisságot (33. ábra) és rághatóságot (34. ábra). A sajtminták állományának statisztikai vizsgálatát IBM Statistics 24 szoftverrel végeztem 5%-os szignifikancia szinten ($p < 0.05$). A hibatagok normalitását Shapiro-Wilk teszttel, a szóráshomogenitást pedig Levene's teszttel ellenőriztem. A statisztikai elemzést egytényezős ANOVA segítségével hajtottam végre. Amennyiben az ANOVA szignifikánsnak bizonyult, a különböző csoportok elkülönítésére a szóráshomogenitás feltételének teljesülése esetében Tukey HSD tesztet, a szóráshomogenitás sérülése esetében Games-Howell tesztet végeztem. Az eredményeket ábrázoló oszlopdiagramokon különböző kisbetűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$).



32. ábra: Sajtok keménysége

Ahogy az 32. ábrán látható, a lassú fagyasztással Trappista veszít a keménységéből 2 hét tárolás után, viszont az 5. hétre a frissnél is nagyobb lett a mért érték. Gyorsfagyasztás esetében a 2. hétre ugyan akkora maradt a minta keménysége és az 5. hétre a lassú fagyasztáshoz hasonlóan növekedett a keménysége a Trappistának.

A Light lassú fagyasztásánál is azt láthatjuk, hogy lassú fagyasztás után tárolt sajt 2 hét után veszített a keménységéből, majd az 5. hétre visszanyerte azt, a frissnél is nagyobb értékben. A gyorsfagyasztási értékeket vizsgálva azt vehetjük észre, hogy eltérően a Trappistához, a 2. hétre csökkent, az 5. hétre pedig még jobban csökkent a keménysége a mintának a tárolás során.

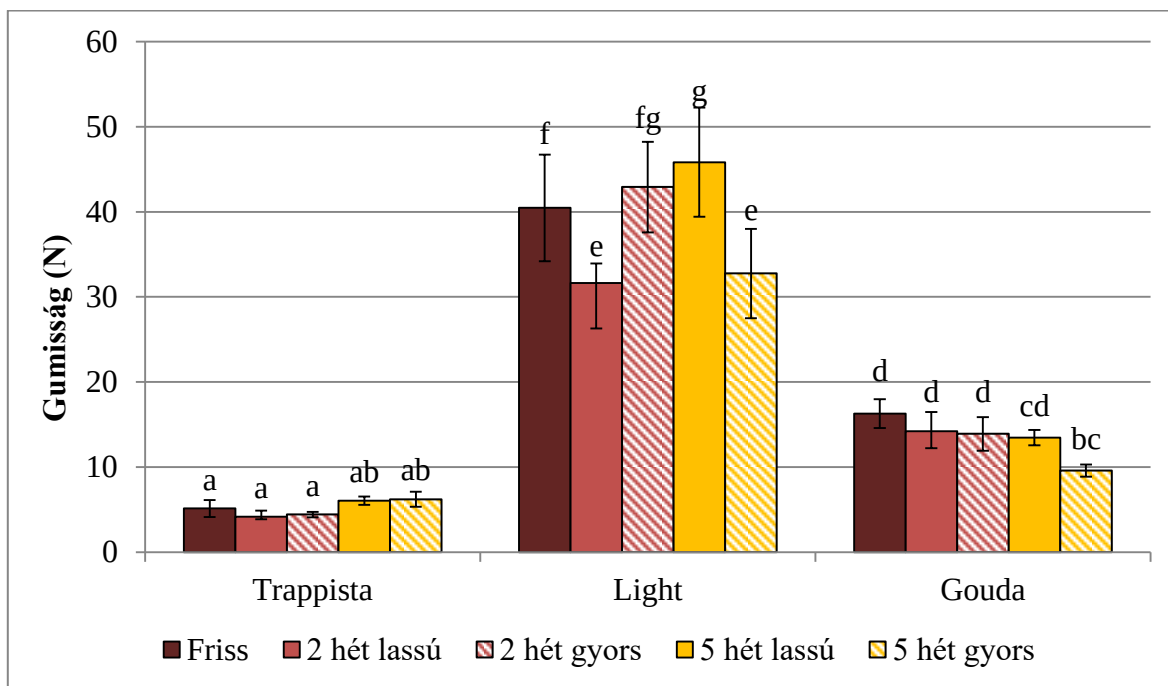
A Goudánál azt tapasztalhatjuk, hogy a lassú fagyasztás esetében a Trappistához hasonlóan 2 hét után csökkent, majd az 5. hétre megnövekedett a keménység. A gyorsfagyasztás a keménységi érték kismértékű csökkenését okozta a 2 hetes tárolás után, de az 5. hétre a frissnél is keményebb lett a minta.

A Trappista sajt keménységénél a friss és fagyasztott minták között nincs szignifikáns különbség. Lightnál a 2. héten a lassú fagyasztásnál és 5. héten a gyorsfagyasztásánál van szignifikáns különbség az értékek között. Gouda sajt keménysége gyorsfagyasztásnál nem változott szignifikánsan, kivéve lassú esetén 5 hét után.

Trappista fagyasztva tárolása során a gumisság (33. ábra) esetében nincs szignifikáns különbség a lassú és gyorsfagyasztási módszerek között és a friss és fagyasztott sajt között

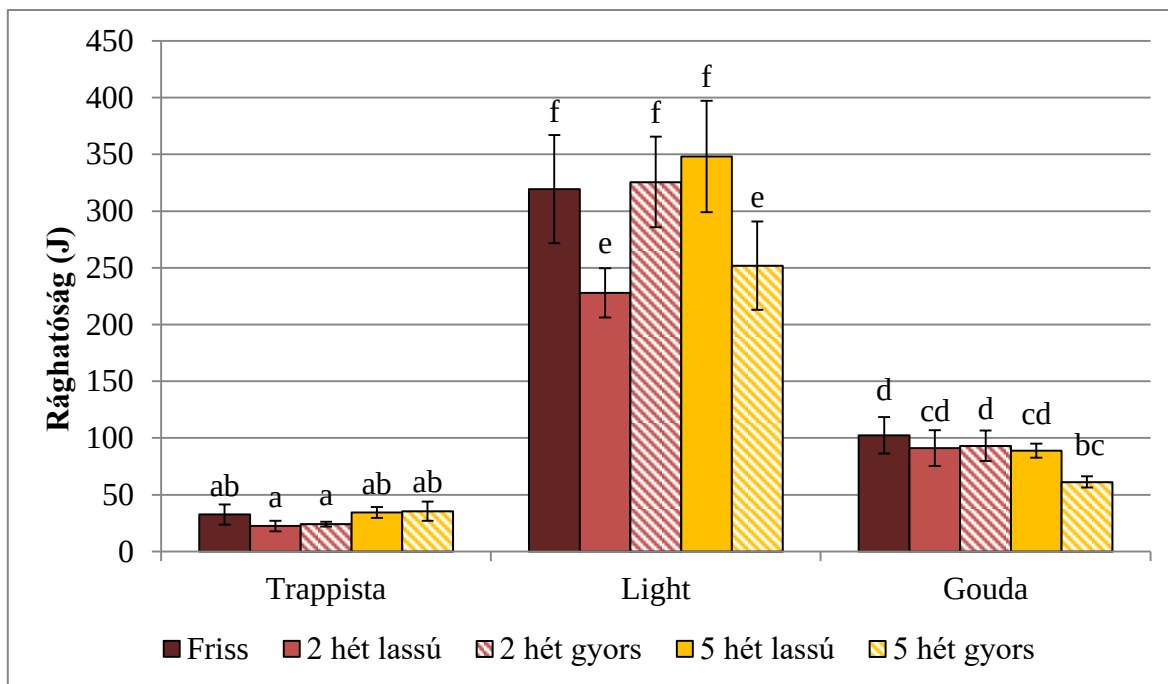
A Lightot vizsgálva már nagy változásokat láthatunk. A lassú fagyasztás hatására 2 hét után a gumisság csökkent, majd ehhez képest az 5. hétre ugrásszerűen megnőtt. A gyorsfagyasztás esetében azt állapíthatjuk meg, hogy a tárolás során a gumisság értéke folyamatosan csökken a vizsgált időszak alatt. Az 5. hétre mindegyik fagyasztási módszernél a gumisság szignifikánsan változik.

A Goudánál a lassú fagyasztásnál nincs, a gyors fagyasztásnál van szignifikáns különbség az 5. héten.



33. ábra: Sajtok gumisságának változása

A rághatóságot, mivel a rugalmasságból és a fentebb ábrázolt gumisságból lehet kiszámolni, ezért a tárolás során és a fagyasztási módszereket nézve a rághatósági értéket bemutató 34. ábrán hasonló diagramokat tapasztalunk, mint az 33. ábrán. Szignifikanciában egyedül a Light változott, rághatóságban nincs különbség a friss és lassú fagyasztás után 5 hétig tárolt minta között.



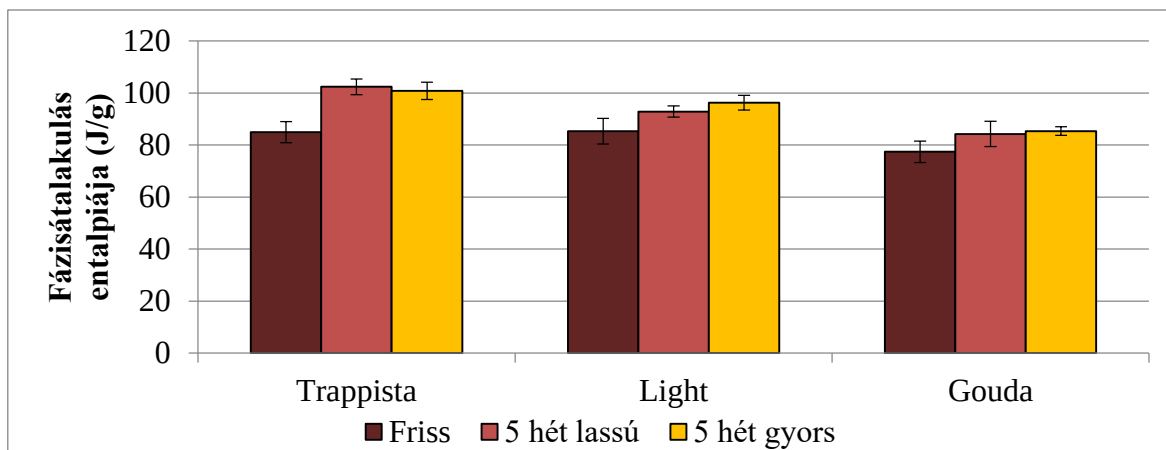
34. ábra: Rághatósági értéke a sajtoknak

A szakirodalommal (Alinovi, M., et al., 2020) hasonlóan a fagyasztás hatására a legtöbb minta keménysége csökkent, viszont a lassú fagyasztott Trappista és Gouda 5 hetes tárolás után nagyobb keménységi értéket mutatott, mint a friss sajt.

A fagyasztva tárolás után a kiolvasztott sajt visszanyeri a kiindulási értéket. A gyors fagyasztás kisebb hatást gyakorol a sajtok állományára, mint a lassú fagyasztás. A Light sajt a magas fehérje és alacsony zsírtartalma miatt érzékenyebb a fagyasztásra, mint a magas zsírtartalmú fajták.

4.6. DSC vizsgálat friss és fagyasztott sajtok esetében

Differenciális pásztázó kaloriméterrel vizsgáltam a sajtok kalorimetrikus tulajdonságait. -50 és +30°C közötti hőmérsékletprogram segítségével felvettem a hőáramgörbéket, majd a görbe alatti terület számításával meghatároztam a fázisváltozáshoz szükséges entalpiát. Megfigyelhető, hogy a 3 friss, nem fagyasztott sajtok közül a Gouda sajt volt az, amely esetében a legkisebbnek bizonyult a fázisátalakulás entalpiája (35. ábra). Elmondható, hogy ennek a sajtnak volt a legnagyobb a szárazanyag-tartalma, illetve a zsírtartalma, így kevesebb vizet tartalmazott, mint a többi a minta. Fagyasztást követően minden esetben megfigyelhető az entalpia növekedése, azonban a különböző fagyasztási módszerek között nem látható egyértelmű különbség.

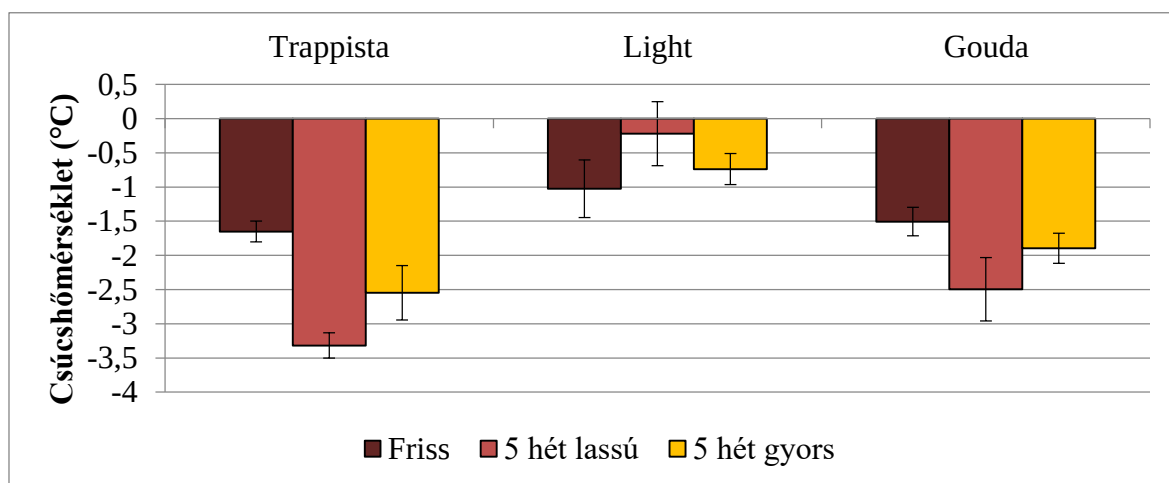


35. ábra: Sajtok fázisátalakulásához szükséges entalpiája

A csúcshőmérséklet (36. ábra) az a jellemző hőmérséklet, ahol a fázisátalakulás 50%-a bekövetkezik.

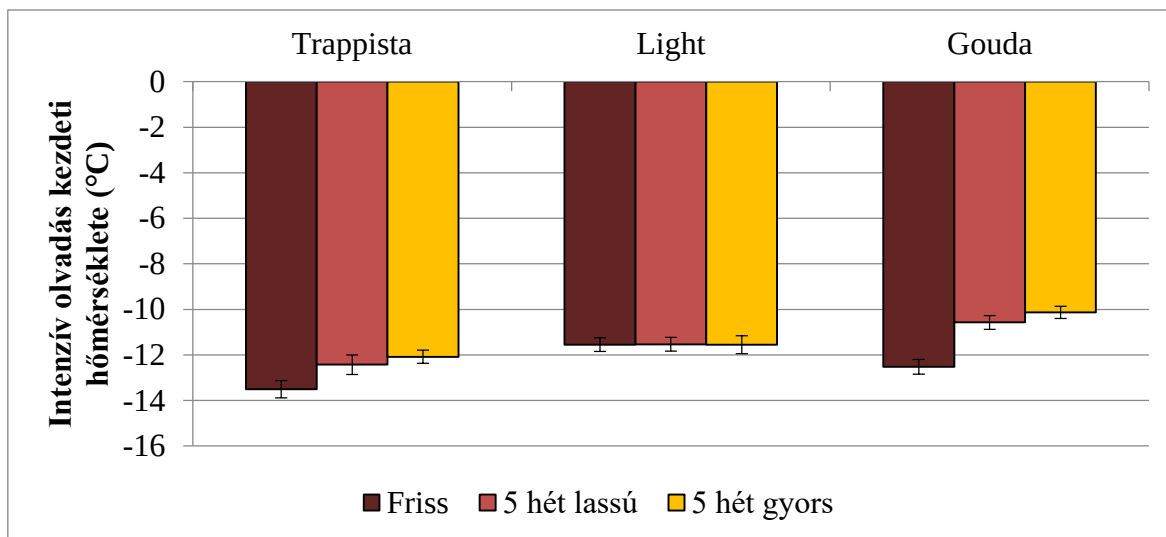
Látható, hogy a Trappista és a Gouda sajtok hasonló csúcshőmérséklet értékkel rendelkeztek, azonban a Light sajt esetében 0°C-hoz közelebbi értéket kaptam.

A fagyásgörbéknél megfigyelhető, hogy a Light sajt krioszkopos hőmérséklete is közelebb esik a nullához, kisebb abszolút értékkel rendelkezik, mint a másik két sajt fajta. Fagyasztás hatására megfigyelhető, hogy a lassú fagyasztás nagyobb hatást gyakorolt a csúcshőmérséklet értékekre, mint a gyors fagyasztási módszer.



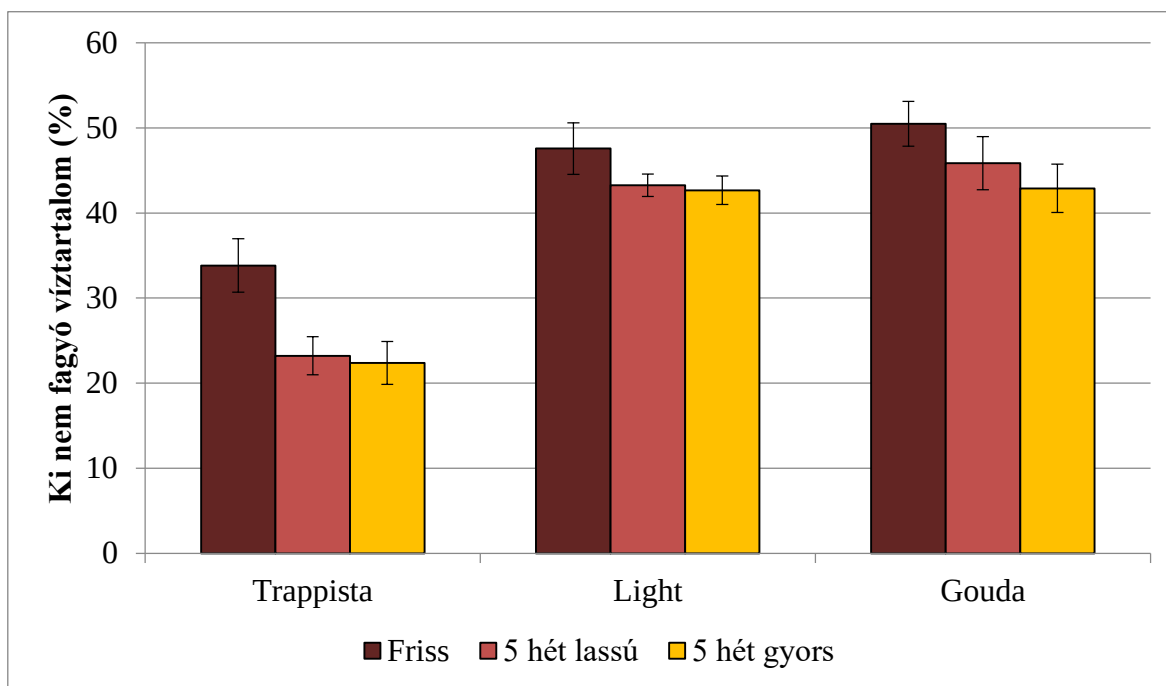
36. ábra: A fázisátalakulás csúcshőmérséklete a különböző sajtok esetében

Az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletét elemezve (37. ábra) azt állapíthatjuk meg, Trappista és Gouda sajtminátnál az érték nőtt. Ezen sajtoknál a gyorsfagyasztás hatására az intenzív olvadás magasabb hőmérsékleten kezdődik meg. A Light sajtnál nincs nagymértékű eltérés.



37. ábra: Intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete

Mindegyik sajtnál elmondható, hogy a friss mintáknál volt a legnagyobb a ki nem fagyasztható víztartalom (38. ábra). Fagyasztás hatására a körülbelüli értékek: Trappistánál 10%, Lightnál 5-6%, Goudánál lassú fagyasztással 5% míg gyors fagyasztással 8%.



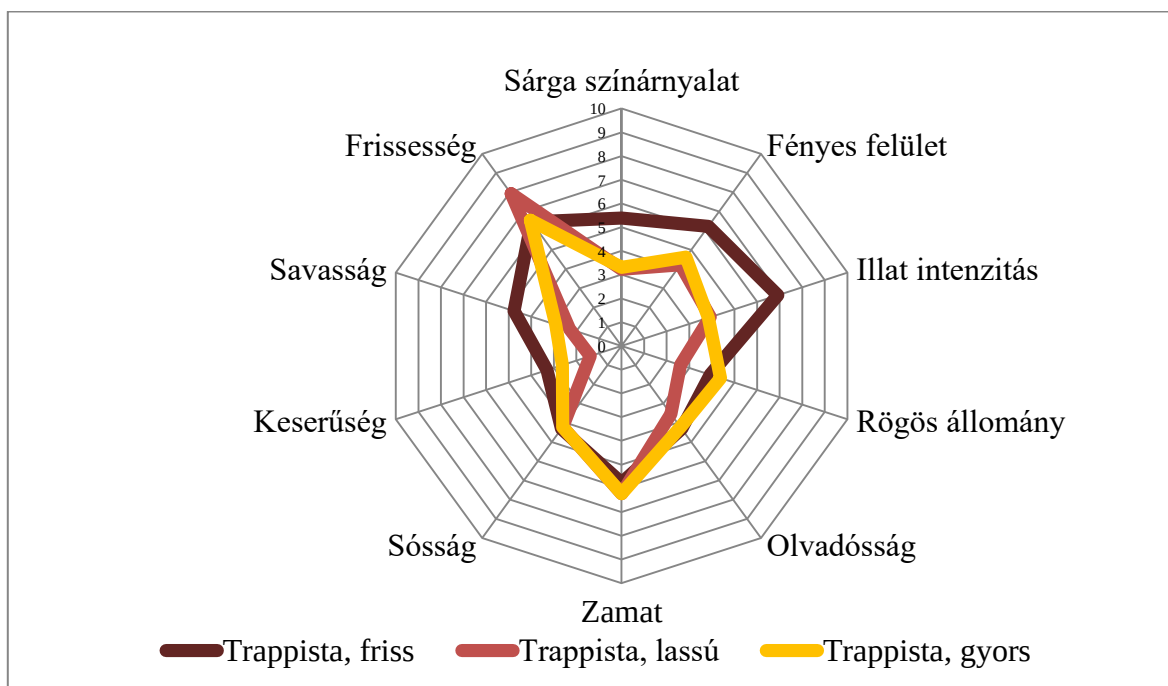
38. ábra Sajtok ki nem fagyó víztartalma fagyasztás hatására

A mért illetve számolt adatok alapján és a fagyasztáshoz kapcsolódó szakirodalmak (Jeremiah, L. E., 2019) (Alinovi, M., et al., 2020) (Sviridenko, G. M., et al., 2020) alapján arra lehet következtetni, hogy a fagyasztás hatására a sajt szerkezete roncsolódik, így a benne található kötött víz felszabadul.

5.7. Friss és fagyasztott sajtok érzékszervi bírálata

Az sajtok érzékszervi bírálatán a megadott szempontokra kapott pontszámok alapján profilanalízist (39. 40. 41. ábra) készítettem mindhárom sajtajtára és azon belül mindkét fagyasztási módszerre 5 hetes tárolás után.

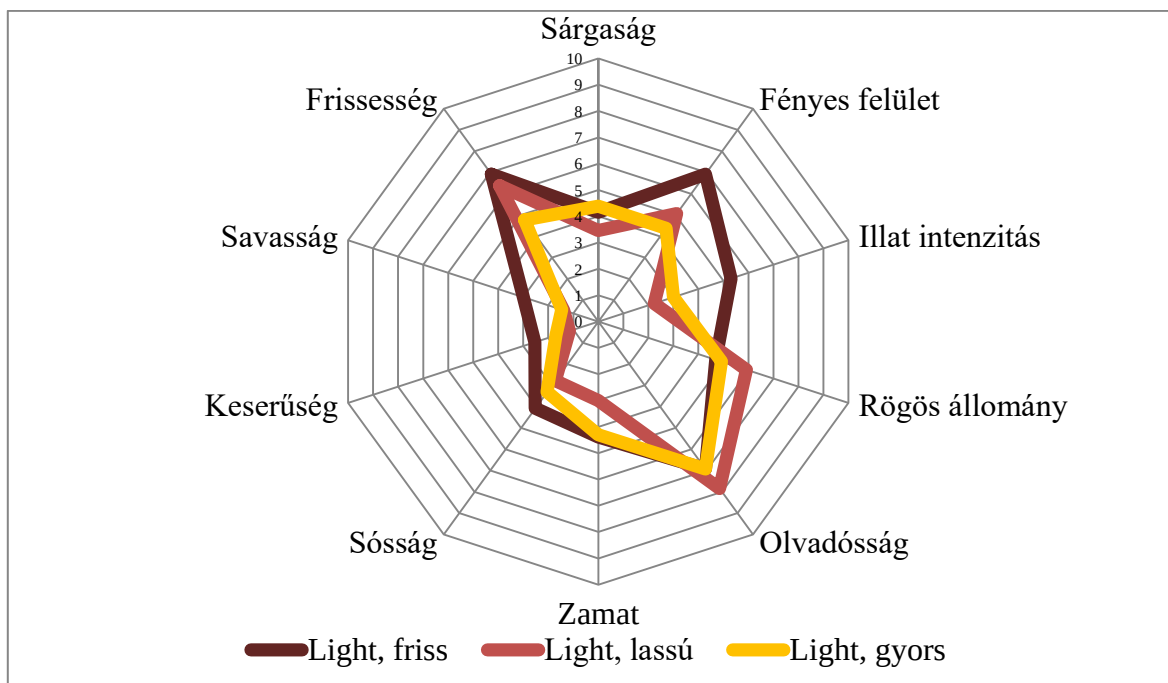
Először a Trappista sajtra adott pontszámaiból alkotott profilanalízist (39. ábra) elemzem. Szakirodalom (Mushtaq, M., et al., 2015) nem ír szignifikáns változást a színben fagyasztás után, viszont bírálók által adott pontszámok alapján észrevehető különbség van. A két fagyasztási módszer között nincsen különbség. Fagyasztás hatására a felület veszített a fényességéből és az illat veszített az intenzitásából. Várhatóan az állománynál nincs nagy különbség. A TPA módszerrel vizsgált mintám gumisabb lett lassú fagyasztásnál és ezt érzékelték a bírálók is. Bár mérésem alapján nem emelkedett szignifikánsan a pH és egyes szakirodalmak sem írnak PH változást, viszont érzékszervileg érzékelhető savasság csökkenést igen, amit a bírálók is tapasztaltak.. Nem várt módon, de a lassú fagyasztott sajt minta frissességben jobb értékelést kapott, mint a ténylegesen friss sajt, a gyors fagyasztás megőrizte a frissességet.



39. ábra: Trappista sajt profilanalízise

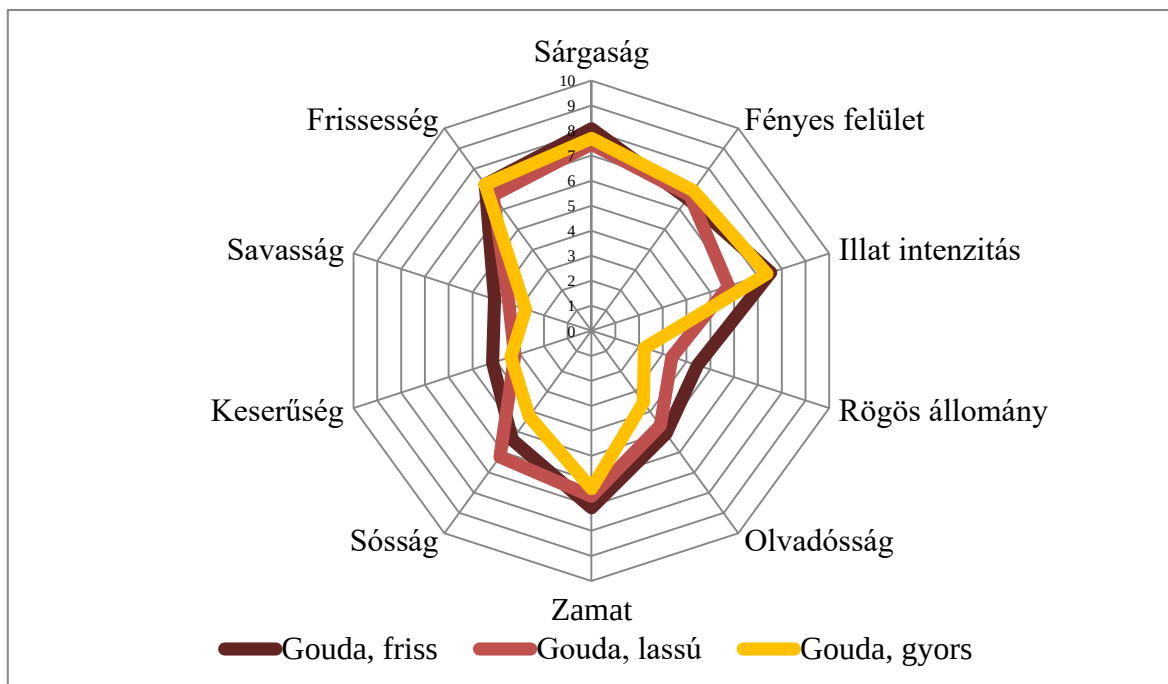
Következő a Light sajtra végzett bírálat eredményei. A kutatások és az én mérési eredményeim is azt mutatták ki, hogy a szín nem változik érdemlegesen fagyasztás hatására, ezt a bírálók pontszáma is megerősíti. A felület ugyanakkor, mint a Trappista esetében

vesztett a fényességéből, és az illat intenzitásából. Ez azzal magyarázható, hogy a magasabb víztartalmú sajtok szerkezetét a fagyasztási folyamat jobban megviseli. A savasság csökkenés már a Trappistánál leírt módon itt is látható. A frissességbeli változást fagyasztás hatására csak a gyorsfagyasztott minták esetében érzékelték.



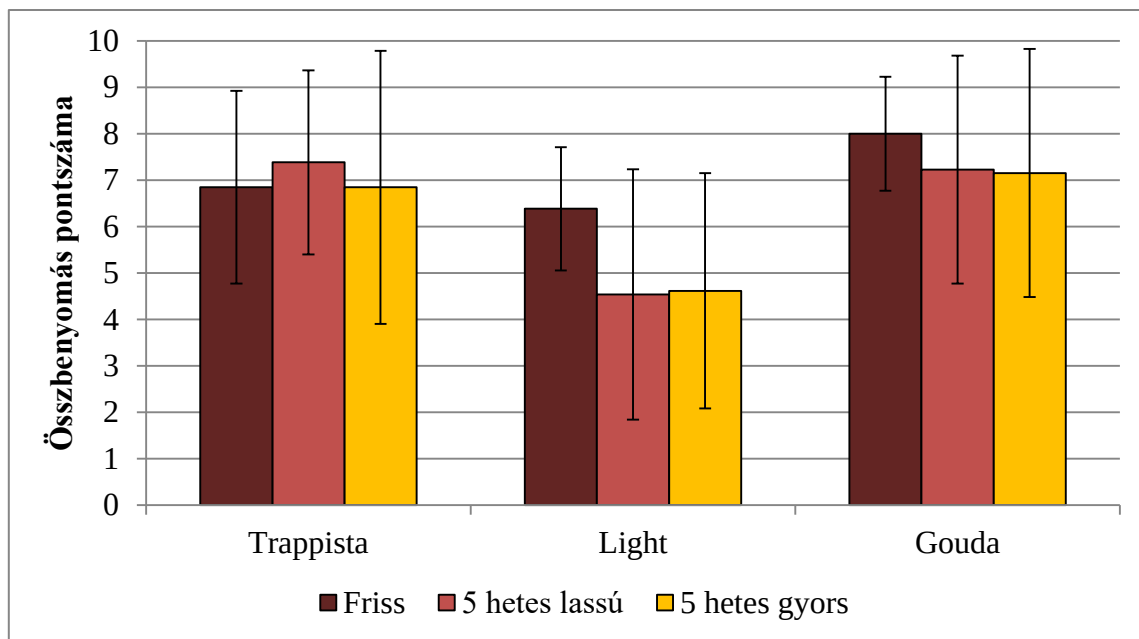
40. ábra: Light trappista sajt profilanalízise

A Gouda profilanalízis (41. ábra) vizsgálatánál a színárnyalat és a felület a szakirodalmakban megírt módon nem változott lényegesen. A többi sajthoz hasonlóan friss sajtnak volt a legintenzívebb az illata, a lassú fagyasztottaknak pedig a legkevésbé, ebben az esetben a gyorsfagyasztás megőrizte az illatot. Az állomány változása ennél a sajtnál is megfigyelhető, a pontszámok alapján gumisabb lett a textúra, a gyors fagyasztási módszernél nagyobb változás figyelhető meg. Ez ellent mond a szakirodalmakkal leírtaknak miszerint az állomány kevésbé, vagy nem is változik, ezt az álláspontot az én méréseim is alátámasztják. Érdekes módon ennél a sajtnál, úgy ahogy a Lightnál is megfigyelhető az, hogy a sósságban éreztek különbséget a bírálók a friss és fagyasztott minták között. A savasságnál, mint a többi sajt esetében, itt is észrevehető csökkenés a bírálók véleménye szerint fagyasztás után. A frissességet mindkét fagyasztási módszer megőrizte.



41. ábra: Gouda sajt profilanalízise

Az érzékszervi bírálatom végén utolsó kérdésként arról kérdeztem a bírálókat, hogy összességében mennyire nyerte el a tetszésüket az adott sajtminta (42. ábra). Kutatások szerint a fagyasztás nem jár minden esetben szignifikáns változásokkal a sajtok érzékszervi tulajdonságaiban. Az ábrán látható, hogy a lassú fagyasztású Trappista több, a gyorsfagyasztású Trappista ugyan annyi pontszámot ért el, mint a friss változata. Ez azért meglepő, mert a profilanalízisen a fagyasztott Trappisták több tulajdonságban is kevesebb pontszámot kaptak. Ettől eltérően a Light és Gouda sajtok esetében a fagyasztott minták összpontszáma kevesebb lett, mint a friss sajté. Összbenyomásban a fagyasztott Gouda habár kicsit, de jobb helyen áll, mint a friss Trappista, vagy bármelyik Light minta.



42. ábra: Sajtok összbenyomása

Későbbiekben érdemes lehet egy erre kihegyezett kutatás, hiszen az én vizsgálatom alapján az értékek arra engednek következtetni, hogy a sajtoknak vannak olyan tulajdonságaik, amik ha változnak (pl. gyengébb illat, mattosabb felület), az nem jár az összbenyomás csökkenésével.

5. Összegzés

A lassú és gyorsfagyasztási folyamat fagyásgörbéiben észrevehető különbségek vannak. A gyorsfagyasztás várhatóan előbb lehűtötte a sajtmintákat. A fagyasztás 3 szakasza a lassú fagyasztás esetében jól látható, gyorsfagyasztásnál a szakaszok rövidebbek, nem különülnek el egymástól.

A Trappistánál és a Light trappistánál nem volt a különbség a friss és fagyasztott minták pH-jában. Ettől eltérően a Gouda pH-ja a semleges irányba tolódott el. A fagyasztási módszerek eredményei között nincs különbség.

A Trappista és Light szárazanyag tartalma nőtt 1%-al, a Goudaé 2%-al csökkent. De még így sem lépte át a minimum határértéket. Határértékhez közeli zsírtartalmú Gouda majdani fagyasztásánál erre a csökkenésre érdemes lehet figyelni.

Korábbi kutatásokkal hasonlóan a színmérés nem mutatott nagy változást a sajtok színében fagyasztás és tárolás után. Kis mértékben sötétedtek a sajtok, az a^* és b^* változása alapján a sajtok színárnyalata a zöldebb és sárgább irányba tolódott el.

Az állományváltozás statisztikai elemzése a legtöbb esetben nem mutatott ki szignifikáns változást a fagyasztás és tárolás után. A szakirodalommal ellentétben a Trappista és Gouda keménysége megnőtt, de nem szignifikánsan, a Light mintái szignifikánsan csökkent. Ahogy a gumisság, abból következően a rághatóság is változott. Trappistánál értékében nincs különbség, a Lighté és Gouda gyors fagyasztás hatására csökkentett értékéből. A többi minta esetében nincs különbség a fagyasztási módszerek között. A Light minden esetben eltérő értékei azt bizonyítják, hogy a fehérjék nagy szerepet töltenek be a fagyasztás után kialakuló állományban.

A DSC vizsgálat kimutatta, hogy a sajtok hőfizikai tulajdonságok megváltoztak minden esetben, de a fagyasztási módszerek értékei között nincs különbség. Kivételt képez a csúcshőmérséklet, ami Trappista és Gouda esetében csökkent, Light esetében növekedett. Valamint a kifagyasztható víztartalom: a fagyasztáson átesett és fagyasztva tárolt sajtokból több víz tud kifagyni. Erre magyarázatot adhat a fagyasztás közben a sajtban fellépő mikrostruktúra változás.

Profilanalízis alapján a Trappista veszített sárgaságából, fényességéből és illatából. Ugyanakkor az állományát és ízét megőrizte. A savassága a semlegesebb irányba tolódott el. A lassú fagyasztásos sajt frissességben és összességében jobb benyomást kapott, mint a friss vagy a gyorsfagyasztott formája. A Light ugyanúgy veszített a fényességéből. Állományát és ízét megőrizte. A gyorsfagyasztású minta veszített frissességéből. A Gouda színre és illatra nem változott, egyedül az állományban véltek különbséget felfedezni. Gyorsfagyasztás utáni mintát sósabbnak vélték.

Végezetül a fagyasztás nem változtatja meg számottevően a sajtok tulajdonságait, a fagyasztási módok között nagyon kis különbségek vannak. Egyes szempontoknál a lassú fagyasztás tűnik jobb megoldásnak, másoknál a gyorsfagyasztás.

Irodalomjegyzék

Alichianidis, E., Polychroniadou, A., Tzanetakis, N. & Vafopolou, A., 1981. Teleme Cheese from Deep-Frozen Curd. *Journal of Dairy Science*, Volume 64, Issue 5. kötet, pp. 732-739.

Alinovi, M. & Mucchetti, G., 2020. Effect of freezing and thawing processes on high-moisture Mozzarella cheese rheological and physical properties. 124. kötet.

Alinovi, M., Mucchetti, G., Wiking, L. & Corredig, M., 2020. Freezing as a solution to preserve the quality of dairy products: the case of milk, curds and cheese. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61. kötet.

Alonso, L., Juárez, M., Ramos, M. & Martín-Alvarez, P. J., 1987. Effects of changes during ripening and frozen storage on the physiochemical and sensory characteristics of Cabrales Cheese. *International Journal of Food Science & Technology*, Volume 22, Issue 5. kötet, pp. 525-534.

Andrews T. & Varley J., 1994. *Biochemistry of milk products*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Balla, Cs. & Sáray, T., 2002. Élelmiszererek tartósítása hűtőkezeléssel. In: Beke, Gy., szerk. *Hűtőipari kézikönyv 2. Technológiák*. Budapest: Mezőgazda Kiadó, pp. 7-96.

Brandt, M. A., Skinner, E. Z. & Coleman, J. A., 1963. Texture Profile Method. *Journal of Food Science*, 29. kötet, pp. 404-409.

Conte, A., és mtsai., 2017. Conventional or blast freezing prior to frozen storage to. *Journal of Food Processing and Preservation*, Volume 41, Issue 6. kötet.

Csury, I., Kiss, S. & Szoboszlai, K., 2002. Hűtőházak, Hűtőlánc. In: Beke, Gy., szerk. *Hűtőipari kézikönyv 1. Alapismeretek*. Budapest: Mezőgazda Kiadó, pp. 455-465.

Dalby, A., 2009. *Cheese: A global History*. London: Reaktion Books.

Deák, T., Kiskó, G., Maráz, A. & Farkas, Cs., 2006. *Élelmiszermikrobiológia*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.

Demetzos, C., 2008. Differential Scanning Calorimetry (DSC): A Tool to Study the Thermal Behaviour of Lipid Bilayers and Liposomal Stability. *Journal of Liposome Research*, pp. 159-173.

Farkas, J., 1994. *A DSC-termoanalitikai módszer néhány*, Budapest: Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Hűtő- és Állatiermék Tanszék.

Fox, P. F., 1993. Cheese Science and Technology. In: *Cheese: An Overview. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Cork, Írország: Department of Food Chemistry, University College, pp. 7-8.

Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M. & McSweeney, P. L. H., 2017. Overview of Cheese Manufacture. In: *Fundamentals of Cheese Science*. Second Edition szerk. New York: Springer, pp. 12-23.

Goff, H. D. & Sahagian, M. E., 1996. Food Science and Technology. In: Jeremiah, E. J., szerk. *Freezing Effects on Food Quality*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, p. 331.

Griffiths M. W., 2010. *Improving the safety and quality of milk, Volume 1: milk production and processing*. Woodhead Publishing Limited.

György, É., 2020. *Élelmiszermikrobiológia*. Kolozsvár: Scientia Kiadó.

- Internet 1., *Érlelten az igazi*, <https://szupermenta.hu/erlelten-az-igazi-26-trappista-sajtot-teszteltunk/>:
- Internet 2, <https://zamrud.deminasi.com/>
- Internet 3., <https://bevasarlas.tesco.hu/groceries/hu-HU/products/2004009680063>
- Internet 4., <https://chefmarket.hu/termek/734/gouda-3kg-tomb-ammerland>
- Internet 5., <https://www.ellab.com/solutions/validation/wired-thermocouple-system/e-val-pro/>
- Internet 6., <https://www.testo.com/en-UK/testo-206-ph2/p/0563-2062>:
- Internet 7., *Horn Instruments Co., Ltd.*, http://www.horninstr.com.tw/eng_2/texture_analyzer/eq_design_0_3_e.html
- Internet 8., <https://sensing.konicaminolta.asia/product/chroma-meter-cr-400/>
- Internet 9. [HTTPS://hutokamra.net/cikk/sokkolo-huto](https://hutokamra.net/cikk/sokkolo-huto)
- James, S., 2008. Freezing of Meat. In: *Frozen Food Science and Technology*. pp. 124-150.
- Jeremiah, L. E. szerk., 2019. *Freezing effects on food quality*. 1st edition, CRC Press.
- Kasprzak, K., Wendorff, W. L. & Chen, C. M., 1994. Freezing Qualities of Cheddar-Type Cheeses Containing Varied Percentages of Fat, Moisture, and Salt. *Journal of Dairy Science* , Volume 77, Issue 7. kötet, pp. 1771-1782.
- Kono, S., Kon, M., Araki, T. & Sagara, Y., 2017. Effects pf relationships among freezing rate, ice crystal size and color on surface color of salmon fillet. *Journal of Food Engineering*, 214. kötet, pp. 158-165.
- Kuo, M.-I. & Gunasekaran, S., 2009. Effect of freezing and frozen storage on microstructure of Mozzarella and pizza cheeses. *LWT - Food Science and Technology*, Volume 42, Issue 1. kötet, pp. 9-16.
- LeBlanc, D. I., Kok, R. & Timbers, G. E., 1990. Freezing of a parallelepiped food product. Part 2. Comparison of experimental and calculated results. *International Journla of Refrigeration*.
- López-Leiva, M. & Hallström, B., 2003. The original Plank equation and its use in the development. *Journal of Food Engineering*, 58(3)(doi:10.1016/s0260-8774(02)00385-0), pp. 267-275.
- Luck, H., 1977. Preservation of cheese and perishable dairy products by freezing.. *South African Journal of DAiry Technology*.
- Lukács, Gy., 1982. *Színmérés*. Budapest, Műszaki Kiadó.
- Ly, B. C. K., és mtsai., 2020. Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *Journal of Investigative Dermatology*, 140(1)(10.1016/j.jid.2019.11.003), pp. 3-12.
- Martín-Hernández, C., Juárez, M., Ramos, M. & Martín-Alvarez, P., 1990. Effects of freezing and frozen storage on the physiochemical and sensory characteristics of four types of goat's cheese. *Z Lebensm Unters Forsch*, pp. 190:325-330.
- Menczel, J. D. & Prime, R. B., 2009. *Thermal analysis of polymers: fundamentals and applications*. 1 szerk. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc..
- Mohamed, A., Kamal, H., Mahmoud, O. & Zayed, A., 2016. Experimental Determination of Mechanical Properties of Chopped Fiber Composite Materials. *International Journal Of Engineering Research and Technology*, p. 46.

Mushtaq, M., és mtsai., 2015. Himalayan cheese (Kalari/kradi): Effect of different storage temperatures on its physiochemical, microbiological and antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, Volume 63, Issue 2. kötet, pp. 837-845.

Norwig, J. F., 1984. Review of dehydration during freezing. *Transactions of the ASAE*.

P. Walstrata, T. J. G., 1999. *Dairy technology, principles of milk properties and processes*.

Scott, R., 1998. *Cheesemaking Practice*. 3rd szerk. The University of Reading, Reading, Egyesült Királyság: Springer Science+Business Media.

Singh, R. P. & Heldman, D. R., 2009. *Introduction to Food Engineering*. Fourth Edition szerk. Massachusetts: Academic Press.

Sommer, H. H., 1928. The Freezing Point of Cheddar Cheese: Injury of Cheese by Freezing. *Journal of Dairy Science*, Volume 11, Issue 1. kötet, pp. 9-17.

Spreer, E., 1995. Milk and dairy product technology.

Sviridenko, G. M., Kalabushkin, A. N., Shishkina, A. N. & Uskova, E. E., 2020. Research on the possibility of extending the shelf life of cheese raw material and heat-treated cheese by their freezing for further use in HoReCa. *Food Systems*, pp. 39-44.

Tetra Pak, 1995. Cheese. In: *Dairy processing handbook*. Lund, Svédország: Tetra Pak Processing Systems AB.

Varnam, A. & Sutherland, J., 1994. *Milk and milk products technology, chemistry and microbiology*.

Walstrata, P., és mtsai., 1999. *Dairy Technology, Principles of Milk Properties and Processes*. Boca Raton: CRC Press.

Webb, B. H., 1968. Preparation for freezing and freezing of dairy products. In: D. K. Tressler, W. B. Van Arsdel & M. J. Copley, szerk. *Commercial Food Freezing Operations 4. Kiadás*. Negyedik szerk. Westport: AVI Publishing Co. Inc., p. 295.

Zeke, I. Cs., 2015. *Fagyasztott élelmiszer-emulziók stabilitásának vizsgálata*. 10.14267/phd.2015016

Zhao, Y. & Takhar, P. S., 2017. Freezing of Foods: Mathematical and Experimental Aspects. *Food Engineering Reviews*, 9. kötet, pp. 1-12.

1. melléklet

Félkemény sajtok érzékszervi minősítése

Tisztelt Bíráló!

Kérem, értékelje a számkódokkal megjelölt sajt mintákat a felsorolt szempontok alapján, 0-tól 10-ig tartó pontozással.

Szempontok	Minták pontszámai					
	122	123	222	223	322	323
Színárnyalat (0 Fehér→10 Sárga)						
Felület (0 Tompa fényű, matt→10 Fényes)						
Illat Intenzitás (0 Nem érezhető→10 Intenzív)						
Állomány (0 Rugalmas, gumis→10 Törős, "száraz")						
Olvadósság (0 Könnyen olvadó→10 Kemény)						
Zamat (0 Nincs→10 Zamatos,telt)						
Sósság (0 Nem sós→10 Sós)						
Keserűség (0 Nem keserű→10 Keserű)						
Savasság (0 Nem savas→10 Savanyú)						
Frissesség (0 "Állott ízű"→ 10 Friss)						
Összbenyomás (0 Nem tetszik→10 Tetszik)						