



SZENT ISTVÁN EGYETEM

**MIKROBIÁLIS TRANSZGLUTAMINÁZ ALKALMAZHATÓSÁGA TEJ- ÉS
HÚSIPARI TERMÉKEKNÉL**

DARNAY LÍVIA

Budapest

2016

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	5
1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
1.1. A mikrobiális transzglutamináz (mTG) enzim bemutatása	7
1.1.1. Az mTG működési mechanizmusa.....	7
1.1.2. Az mTG aktivitását meghatározó tényezők	9
1.1.3. Az mTG inaktiválásának lehetőségei	12
1.2. Az mTG és az enzimkezelt termékek élettani hatása az emberi szervezetre	13
1.3. Az mTG alkalmazásának törvényi keretei	14
1.4. Az mTG kereskedelmi forgalmazói és a kereskedelmi készítmények fajtái	15
1.5. Az mTG alkalmazási területei az élelmiszeriparban.....	16
1.5.1. Az mTG alkalmazása a tejiparban.....	17
1.5.2. Az mTG alkalmazása a húsiparban	24
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	29
2.1. A kísérletek helye és azok műszerezettsége	29
2.1.1. Magyarországi berendezések	29
2.1.2. Németországi berendezések	30
2.2. Felhasznált vegyszerek.....	30
2.2.1. Vegyszerek a mikrobiális transzglutamináz enzim aktivitásának közvetlen vizsgálata során	30
2.2.2. Vegyszerek a mikrobiális transzglutamináz enzim aktivitásának közvetett vizsgálata során	30
2.3. A vizsgált termékek előállítása	32
2.3.1. Savanyú kazein modell oldat	32
2.3.2. Joghurt modell oldat	32
2.3.3. Sajt modell oldat.....	33
2.3.4. A joghurtgyártás folyamata	33
2.3.5. A rögös állományú túró gyártásának folyamata	35
2.3.6. A trappista sajt gyártási folyamata	36
2.3.7. A frankfurti virsli gyártásának folyamata	37
2.4. A vizsgált termékek enzimaktivitásának meghatározása	38
2.4.1. Hidroxamát módszer.....	38
2.4.2. Fluorescens módszer	39
2.5. A vizsgált termékek fizikai és kémiai vizsgálatai.....	39
2.5.1. Összes szárazanyag tartalom meghatározása	39
2.5.2. Összes zsírtartalom meghatározása.....	39
2.5.3. Összes fehérjetartalom meghatározása	40
2.5.4. A TBA-szám meghatározása frankfurti virsliből.....	40

2.5.5.	Savóeresztés meghatározása	40
2.5.6.	Léeresztőképesség (WHC) meghatározása	40
2.5.7.	A savfok (SH°) meghatározása	40
2.6.	A vizsgált termékek műszeres analitikai vizsgálatai	41
2.6.1.	A pH-érték meghatározása	41
2.6.2.	Színmérés	41
2.6.3.	Szol – gél képződés nyomonkövetése neutronspektroszkópiával	41
2.6.4.	Állományvizsgálati módszerek	43
2.7.	Érzékszervi minősítési módszerek	48
2.7.1.	MSZ pontozásos bírálat	49
2.7.2.	Állományprofil analízis	49
2.7.3.	Különbségvizsgálat	49
2.8.	Statisztikai értékelés	50
3.	EREDMÉNYEK	51
3.1.	Gélképződés nyomonkövetése modell oldatokban.....	51
3.1.1.	Oscillációs állománymérés savanyú kazein modell oldat esetén	51
3.1.2.	Neutronszórás vizsgálat nehézvízes joghurt modell oldatban.....	53
3.2.	Az enzimkezelés hatása a savas alvasztású tejtermékek esetén	55
3.2.1.	Natúr pohárban alvasztott joghurt.....	56
3.2.2.	Rögös állományú túró	68
3.3.	Az enzimkezelés hatása oltós alvasztású tejtermékek esetén.....	75
3.3.1.	Az enzimadagolás időzítésének szerepe a késztermék minőségében	76
3.3.2.	Az enzimkezelés és a sajttej zsírtartalmának hatása a sajt minőségi jellemzőire .	80
3.3.3.	Tárolási kísérlet félzsíros trappista sajt esetén	85
3.3.4.	Enzimaktivitás meghatározása félzsíros trappista sajt esetén	86
3.4.	Nyers és hőkezelt vörösáru (frankfurti virsli) technofunkciós tulajdonságainak változása az mTG hatására.....	88
3.4.1.	Az enzim koncentráció hatása a nyers és a hőkezelt termék technofunkciós tulajdonságaira	88
3.4.2.	A pácsó koncentráció és az enzimkezelés hatása a nyers és a hőkezelt termék technofunkciós tulajdonságaira.....	96
3.4.3.	A foszfát koncentráció és az enzimkezelés hatása a nyers és hőkezelt termék technofunkciós tulajdonságaira.....	105
3.5.	Új tudományos eredmények	112
4.	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	113
5.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	116
SUMMARY		117
6.	MELLÉKLETEK	118
M1.	Irodalomjegyzék	118

M2. Érzékszervi bírálati lapok	133
M3. Statisztikai elemzés	139
M4. Kereskedelmi enzimkészítmények termék-leírása.....	142
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	146

BEVEZETÉS

Napjainkban az élelmiszeripar számára azok a kutatások fontosak, amelyek a leginkább kiszolgálják a fogyasztói igényeket, s így a legnagyobb bevételhez vezetnek. A korszerű táplálkozási elvárásoknak megfelelő termékek energiaszegények, lehetőleg tartósítószer- és adalékanyag-mentesek, de ezeken kívül rendelkezniük kell a hagyományos termékeknél megszokott íz- és állományjellemzőkkel is.

A fermentált, savas- és oltós alvasztású tejtermékek, valamint a vörösáruk minőségi jellemzői szoros összefüggésben állnak azok fizikai tulajdonságaival, így például a tejtermékek savóeresztésével, gélszilárdságával, keménységével és a húsipari termékek vízkötő képességével, keménységével, rugalmasságával. A megfelelő reológiai tulajdonságokhoz köthető kedvező érzékszervi jellemzők kialakításához napjainkban számos adalékanyag és segédanyag áll a gyártók rendelkezésére, melyek azonban a fogyasztókból egyre inkább bizalmatlanságot és elutasítást váltanak ki.

E termékek állományjellemzőinek javítására lehetőséget adhat a transzferázok csoportjába tartozó mikrobiális transzglutamináz enzim (mTG, EC 2.3.2.13) is, melynek segítségével molekulán belüli és molekulák közötti kovalens kötések hozhatók létre a két aminosav, a glutamin és a lizin között, ezáltal a tej- és húsfehérjék szerkezete stabilizálhatóvá válik. Mióta a Ca^{2+} független mTG enzim mikrobiális fermentációval ipari léptékben is előállítható, azóta ez az enzim az élelmiszeripar számára valódi lehetőséget jelent az állománymódosító adalékanyagok részleges vagy teljes kiváltására. Az enzimkezelés szerepének megértése, az enzim működési mechanizmusának megismerése az 1990-es évek óta az élelmiszeripari-kutatások egyik fontos témája. Ennek folyamataként számos tejipari és húsipari termék gyártástechnológiájának módosítására tettek javaslatot és sok szabadalom született. A tudományos irodalom feltérképezése után azonban világosan látszik, hogy a publikált kutatásokban többnyire csak adott célnak (pl.: zsírmentes habart joghurt, foszfátmentes virsli) megfelelő termékek kialakításán dolgoztak. Továbbá felismerhető, hogy az mTG koncentrációját széles tartományban változtatták, mert annak hatása az évtizedes kutatások ellenére sem egyértelmű.

Ezt felismerve, doktori kutatásaim fő célkitűzése a mikrobiális transzglutamináz (mTG) enzim fehérje tartalmú élelmiszerekben kifejtett állománymódosító hatásának nyomon követése és a hatás tudományos alátámasztása.

Az mTG enzim aktivitásának közvetlen megállapítása érdekében vizsgáltam, hogy milyen klaszikus, ill. műszeres analitikai módszerek alkalmazhatóak az enzim aktivitásának modell oldatban valamint tejipari és húsipari élelmiszermátrixban történő meghatározására.

Az mTG enzim közvetett hatásának meghatározása érdekében vizsgáltam a kezelés körülményeinek (az enzim készítménynek, az mTG koncentrációjának, az mTG adagolás időzítésének) szerepét pohárban alvasztott joghurt, rögös állományú túró, trappista jellegű félkemény sajt és frankfurti jellegű virsli előállításánál. Kísérleteimnél figyelembe vettem az általánosan alkalmazott gyártástechnológiából adódó lehetőségeket.

Az mTG enzim gélképződést befolyásoló hatásának tudományos alátámasztása érdekében részletesen vizsgáltam a joghurt modell oldat és a pohárban alvasztott joghurt fermentációja során lejátszó szol-gél átalakulást. Kísérleteim során megfigyeltem az alkalmazott térfogatnövelő szer illetve a tejsavbaktérium hatását is.

Az mTG enzim adalékanyagokat kiváltó szerepének feltárásához megvizsgáltam, hogy mennyivel csökkenthető a pácsó illetve a foszfát mennyisége abban az esetben, ha a frankfurti jellegű virsli gyártástechnológiában mTG enzimet alkalmazunk.

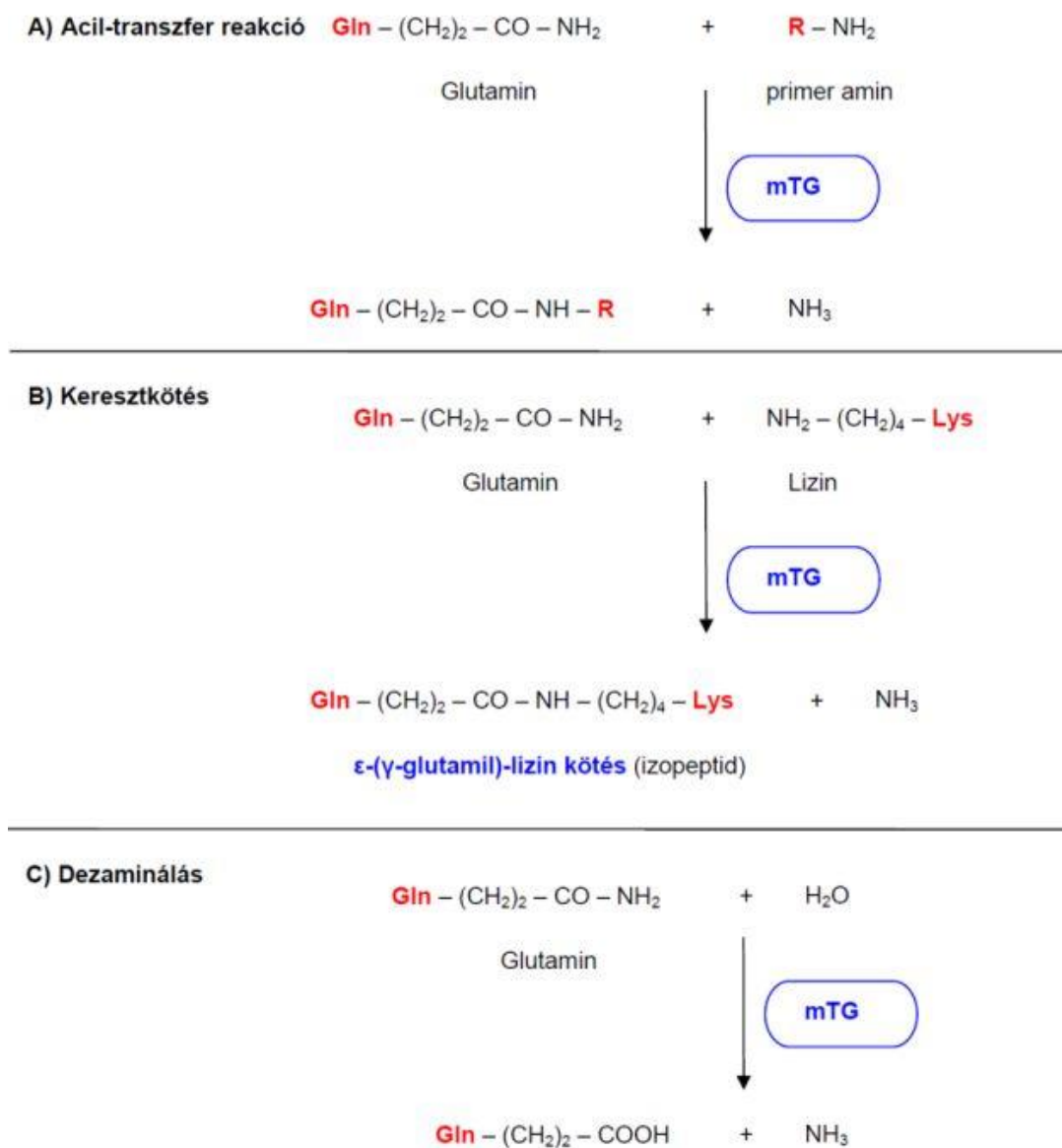
A kitűzött tudományos feladat elvégzéséhez elsősorban laboratóriumi és félüzemi szinten végeztem kísérleteket. Eredményeim alapján konkrét javaslatot kívánok tenni csökkentett zsír-ill. adalékanyag-tartalmú tejjipari és húsipari termékek nagyüzemi gyártástechnológiájához.

1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

1.1. A mikrobiális transzglutamináz (mTG) enzim bemutatása

1.1.1. Az mTG működési mechanizmusa

A mikrobiális transzglutamináz enzim (röviden: mTG; E.C. 2.3.2.13) az enzim osztályozás szerint a transzferázok csoportjába, azon belül pedig az acil-transzferázok alcsoportjába tartozik. Az mTG ennek megfelelően ún. acil-transzfer szerepet lát el, melynek lefolyása három különböző kémiai reakcióhoz vezethet (1. ábra).



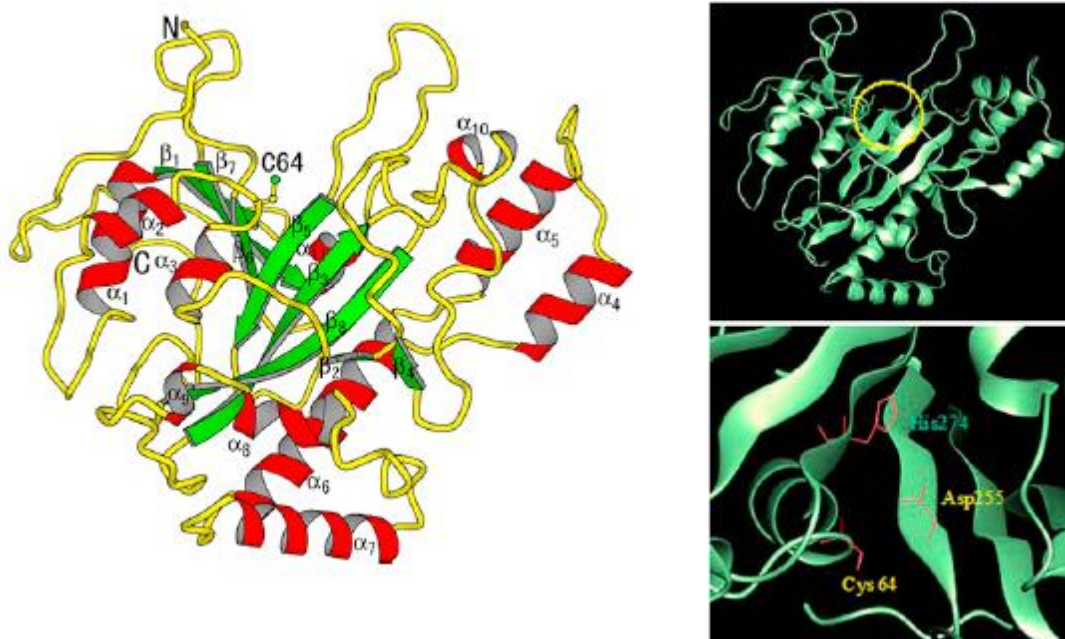
1. ábra Transzglutamináz által katalizált reakció típusai
(ENGEL et al. 2000, MÜLLER 2010)

Ezek közül élelmiszer mátrixban legfontosabb a keresztkötés kialakítása, a lizin ϵ -aminocsoportja és a glutamin γ -karboxil-amid csoportja között. A reakció eredményeként ammónia felszabadulása mellett ϵ -(γ -glutamil)-lizin izopeptid kötés alakul ki. (ANDO et al. 1989; MOTOKI és SEGURO 1998; SEGURO 1995)

Ez a keresztkötés nagyon stabil, és ellenáll a hőkezelésnek is (SCHÄFER 2013). Az mTG az élelmiszerekben lévő fehérjék többségével azok szubsztrátspecifitásának függvényében lép reakcióba, és így fejt ki állománymódosító és fehérjeviszataró szerepét. Jó példa erre a savófehérjék és a kazeinfehérjék közti keresztkötés kialakítása (MARINIELLO et al. 2010). Az élelmiszerfehérjék szubsztrátspecifitásáról az 1.5. fejezetben részletesen is szó lesz. Az mTG aktivitását nemzetközi egységben Unit (röviden: U) adják meg. Azaz 1 U (unit) az az enzim-mennyiség, amely CBZ-Glu-Gly (benziloxikarbonil-glutamin-glicin, $K_M = 52,66$ – YANG et al. 2011) és hidroxilamin reakciója során percnként 1,0 μmol hidroxamát képződését katalizálja pH = 6,0 kémhatás mellett, 37 °C-on. Az enzimaktivitás mérése a kolorimetrikus hidroxamát módszeren alapul (részletes leírás a 2.4.1. fejezetben).

A mikrobiális transzglutamináz enzimet 1987 óta használják hivatalosan, miután 5000 mikroorganizmus szkrínelését követően a japánok egyértelműen kimutatták az enzim aktivitását a mikroba szaporodása során (MOTOKI et al. 1998).

A termelő mikroorganizmusok között *Streptomyces* talajbaktériumok voltak a legígéretesebbek, hiszen számos törzsük kiválasztott a sejten kívül (extracellulárisan) mTG-t (GERBER et al. 1994; PASTERNAK et al. 1997; FARNSWORTH et al. 2006), így például a *Streptomyces mobaraensis* (röviden: *Str. mobaraensis*, régi nevén: *Streptovercillum mobaraense*), *Str. ladakanum*, *Str. grieseocarneum*, *Str. cinnamoneum*, *Str. paucisporogenes* (ZHU et al. 1995; ANDO et al. 1989; LANGSTON et al. 2007; CUI et al. 2007; NAGY és SZAKÁCS 2008; IANCU et al. 2009; MACEDO et al. 2010). Mindazonáltal molekuláris klónozással - az *E. coli*-t vagy a *Saccharomyces cerevisiae*-t (BECH, 1996; SUZUKI et al. 2012) gazdaszervezetként használva - a *Bacillus subtilis* (SUZUKI et al. 2000) és a *Corynebacterium glutamicum* (YOKOYAMA et al. 2010) mikroorganizmusokkal is kísérleteztek. A legjobban termelő mikroba a *Streptomyces mobaraensis* volt, ezért ennek alkalmazása terjedt el ipari léptékben, így ennek fő jellemzőit (pH, hőmérséklet, kofaktor) ismertetem az 1.1.2. fejezetben. A humán gyógyászatban jól ismert szöveti transzglutamináztól (más néven TG2) eltérően az mTG működése Ca-tól független, ami az élelmiszeripari elterjedésének lehetőségét biztosította. Az első élelmiszeripari szabványt 1995-ben jegyezték be Japánban, amely a húsipart érintette. Ezen túlmenően a TG2-vel ellentétben az mTG katalitikus helyén a hisztidin (His) és aszparagin (Asp) a ciszteinhez (Cys) képest fordítva helyezkedik el (2. ábra).



2. ábra Bal oldali kép: a *Streptomyces mobaraensis* eredetű mTG 3D képe. Jobb oldali kép: Az mTG aktív centruma kiemelve a katalitikus hármast. (YOKOYAMA et al. 2004)

A katalitikus kötőhelyen lévő Cys-64 szulfhidril csoportja döntően hozzájárul az mTG reakciókészségéhez. További megkülönböztetésre ad lehetőséget, hogy a szintén az aktív centrumban lévő Asp-255 és a His-274 egységek közül az mTG esetén az Asp-255 viselkedik sav-bázis katalizátorként. Ennek következménye, hogy az Asp-255 negatív töltése miatt az mTG dezaminálási képessége (1. ábra) gyengébb, azaz az mTG a víznél jobb acil akzeptorként viselkedik (POLAINA és MACCABE 2007). Az érett mTG molekulatömege 38 kDa és 331 aminosav alkotja (MOTOKI et al. 1998, ZOTZEL et al. 2003). A *Streptomyces mobaraensis* által termelt mTG enzim szerkezete a Gram-pozitív baktériumok által extracellulárisan kiválasztott fehérjékhez hasonló. Az mTG prepeptidje 31 aminosavból áll és egy bázisos pozitív töltésű N-terminális végből, egy hidrofób magból és egy hasító helyből áll. A szignálpeptid és az érett enzim között egy propeptid található. A propeptid a C és az N-terminális végen vagy mindkettőn is előfordulhat. Az mTG propeptidje 45 aminosavból áll és a Pro76-Asp77 között helyezkedik el (RAUSCHENBACH 2008).

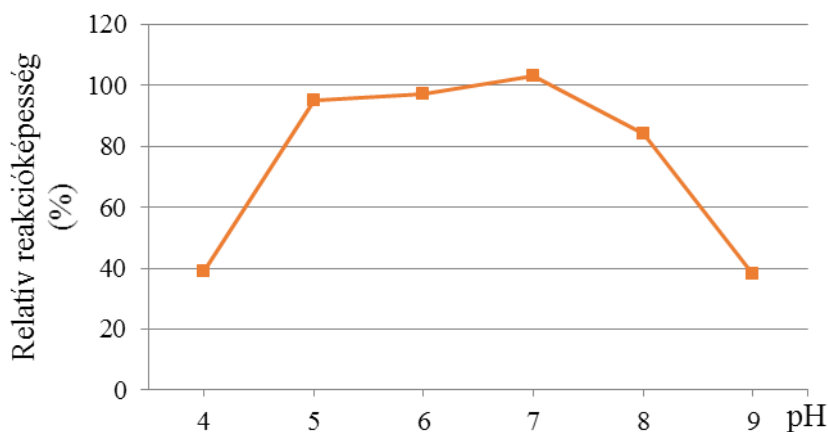
1.1.2. Az mTG aktivitását meghatározó tényezők

Az mTG enzim aktivitásának meghatározására számos módszert sorol fel a szakirodalom (1. táblázat), de ezek közül referencia módszerré a hidroxamát esszé vált, amelyet az enzimgyártók ismereteim szerint kizárólagos módon alkalmaznak.

1. táblázat: A transzglutaminázok enzim aktivitásának meghatározási módszerei (GROSSOWITZ et al. 1950, FOLK és COLE 1966, LORAND és CAMPBELL 1971, PEREZ-PEYA et al. 1991, SONG et al. 1994, LORAND és CAMPBELL 1971)

Glutamin donor	Glutamil akceptor	Módszer (Hivatkozás)
Karbobenzoxi-L-glutaminilglicin CBZ-Gln-Gly (Dipeptid származék)	Hidroxilamin HO-NH ₂	Spektrofotometriás módszer, amely a vas-komplex kialakulása után képződött hidroxilaminra épül (GROSSOWITZ et al. 1950; FOLK és COLE 1966)
Módosított kazeinek, globulinok stb.	Radioaktívan jelölt alkil- és poliamin; metilamin, etanolamin, glicin-etil-észter, hisztamin, kadaverin, putreszcin, spermin	E komponensek meghatározása a fehérjébe beépült radioaktivitáson keresztül (pl. LORAND és CAMPBELL 1971)
Mellitin (26 aminosavat tartalmazó polipeptid)	Danzil kadaverin	A fluoreszcens intenzitásmérése HPLC-s elválasztást követően (PEREZ-PAYA et al. 1991)
Fibrinogén/Fibrin N, N-dimetilkazein	Biotinil-kadaverin	A p-nitrofenolát spektrofotometriás meghatározása a sztreptavidin- β -galaktozidáz konjugátum + p-nitrofenil- β -galaktopiranozid hozzáadását követően (SONG et al. 1994)
α_s -kazein	Danzil kadaverin	A fluoreszcens intenzitás emelkedés alapján (LORAND et al. 1971)

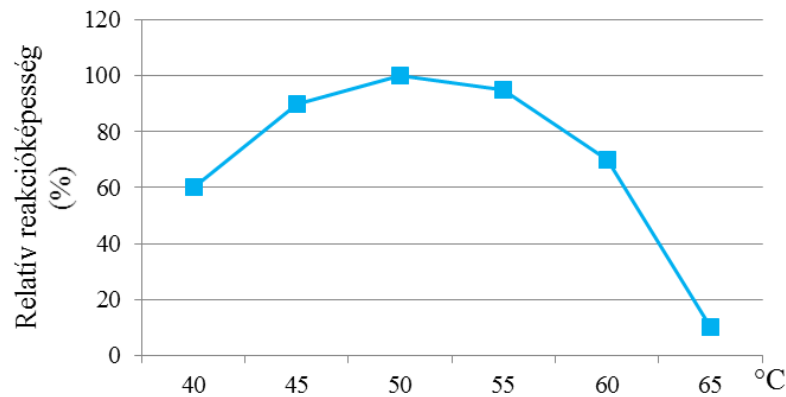
Az mTG széles pH tartományban (pH 5-9) mutat aktivitást, pH optimuma pH 5-7 közé tehető (3. ábra), ebből következően az mTG aktivitás meghatározására általánosan elfogadott és alkalmazott hidroxamát módszer pH=6-ot ír elő.



3. ábra Relatív enzimaktivitás változása a pH függvényében (AJINOMOTO 1998)

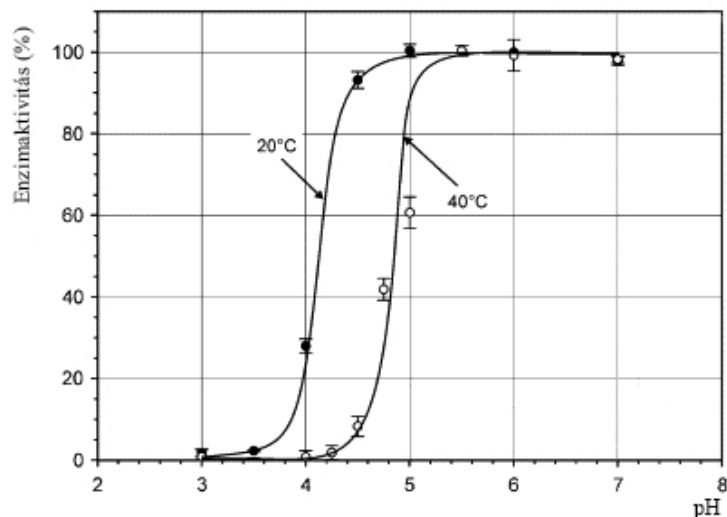
Az enzim fehérjeszerkezetének pH 5 alatti denaturálódását kutatások bizonyítják (ZHU et al. 1995).

Az mTG 0-60 °C hőmérséklet tartományban aktív (MOTOKI és SEGURO 1998) optimuma 45-55 °C körüli (4. ábra). Az mTG fehérje szerkezete 70 °C-tól irreverzibilis koaguláción megy keresztül, amely az enzim fokozatos inaktíválódásához vezet (SÁRI et al. 2007).



4. ábra Relatív enzimaktivitás változása a hőmérséklet függvényében (AJINOMOTO 1998)

Az élelmiszeripari gyakorlat számára azonban kiemelten fontos a pH és a hőmérséklet együttes hatásának ismerete. Külföldön egyedül BÖNISCH et al. (2007b) vizsgálták az mTG enzim aktivitását pH 3-7 között 20 °C-on és 40 °C-on 2 órán át különböző pH-ra beállított puffer oldatokban (5. ábra).



5. ábra Enzimaktivitás változása a pH függvényében 20 °C-on és 40 °C-on 120 perc enzimkezelést követően (BÖNISCH et al. 2007b)

Eredményük szerint a vizsgált pH tartományban (pH 3-7) 20 °C-on már alacsonyabb pH-érték is optimális az mTG működéséhez.

Az mTG érzékeny a redukálószerre. A fém ionok közül a Zn^{2+} (ANDO et al. 1989, LU et al. 2003), a Li^+ (SEGURO 1995) és a Cu^{2+} erősen gátolja, a Mn^{2+} és a Mg^{2+} gátló hatása gyenge (ZHANG et al. 2012). Az adalékanyagok közül a glicerol, a maltodextrin, a szorbitol, a xilitol hatását vizsgálták (BOURNEOW et al. 2012). A glicerol és a maltodextrin 20-20%-os adagolásban megfelelőnek bizonyult az mTG aktivitásának stabilizálására. Ez az eredmény tudományosan is indokolja, hogy a különben csomósodásgátlóként használt maltodextrin miatt alapvető összetevője a kereskedelmi forgalomban lévő enzimek készítményeknek (részletes ismertetésük a 1.4. fejezetben). KÜTEMEYER et al. (2005) a KCl, NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$ sók hatását 5-20% koncentrációban vizsgálták. Eredményük azt mutatja, hogy a NaCl és a KCl növeli az mTG aktivitását és hőstabilitását. A NaCl mTG-re gyakorolt hatásának tanulmányozására konkrét élelmiszeripari mátrixban, vörösáruk sócsökkentése során végeztem kísérletet, melynek eredményeit a 3.4.2. fejezetben ismertetem. Ez utóbbi ($CaCl_2$) adagolása a sajtgyártási gyakorlatban általános, a tejből pasztörözés során távozó kalcium pótlására.

1.1.3. Az mTG inaktiválásának lehetőségei

Az mTG inaktiválásával biztosítható, hogy az enzim állománymódosító szerepét csak a kívánt módon fejtse ki. Erre legegyszerűbb egy inhibitor alkalmazása lehet, amely az enzim további működését gátolni tudja. FOLK és COLE (1966) a radioaktív ^{14}C -jódacetamid és ^{14}C -metilkarbamidot javasolta az mTG-hez szerkezetében és hatásmechanizmusában hasonló, tengerimalac májából kivont TG esetén, amely azonban nem alkalmazható az élelmiszeripari gyakorlatban. Egy 2005-ös szabadalomban viszont már élelmiszer tisztaságú inhibitor előállításának lehetőségéről is beszámolt. Az egyik előállítási módszer szerint a soványtejből pH 4,4-on sósavval kicsapták a kazeinfehérjéket, majd a felülúszóból ultraszűrést (10 kDa) követően eltávolították a savófehérjéket esetlegesen gélszűréssel a laktózt is és így nyerték ki az inhibitort. A másik módszer szerint a soványtejből 1 napig tartó dialízissel (vágási érték: 3500 Da) majd fagyasztva szárítással állították elő a transzglutamináz inhibitort. (HUBERTUS DE et al. 2005).

Az mTG inaktiválásának másik módja a megfelelő ideig és hőmérsékleten végzett hőkezelés. Az inaktiváláshoz a kutatók többsége szerint 70 °C feletti hőmérsékletre és akár 10 perc hőkezelésre is szükség lehet (BÖNISCH et al. 2008, GAUCHE et al. 2007, ILČIĆ et al. 2008, WROBLEWSKA et al. 2010). Az inaktiválási hőmérséklet emelésével csökkenthető a szükséges idő, így 65 °C-on több, mint 2 órára van szükség, míg 80 °C-on 5 perc is elegendő (ENGEL et al. 2000) A nyers tejben van egy felismert, de szerkezetileg még nem azonosított mTG inhibitor

vegyület (BÖNISCH et al. 2008; HUBERTUS DE et al. 2005), ezért az mTG alkalmazása csak a pasztörözött tejben hatásos. Ez azt jelenti, hogy tejtermékek esetén az mTG inaktiválásához még egy hőkezelési lépést kellene beiktatni a gyártástechnológiába, ami költséges megoldás. Kísérleteimben ezért megvizsgáltam, hogy az aktív enzim miként befolyásolja a termék gélzilárdságát. Eredményeimet a 3.2.1. fejezetben mutatom be.

1.2. Az mTG és az enzimekelt termékek élettani hatása az emberi szervezetre

Az mTG által kialakított keresztkötés erős, stabil, a fehérje tápértékét nem befolyásolja, de az emészthetőségét igen (STANIC et al. 2010). Az emberi szervezetben a vesében jelenlévő γ -glutamin-ciklotranszferáz vagy a γ -glutamil-transzferáz hasítja a Glu-Lys közti kötést, melyet ammónia felszabadulás kísér. Előbbi a szervezetet (elsősorban a vesét) könnyen megterhelheti, mivel egy kötés felszakításához és aminálásához három ATP-t igényel (MEISTER et al. 1981). Ennek a reakciónak a végterméke szabad lizin és 5-oxoprolin (FINK 1980). Utóbbi azonban ATP nélkül tudja bontani a Glu-Lys kötést (SEGURO 1995), és mivel a bélbolyhok felszínén is jelen van, ezért meggyorsítja ezen aminosavak felszívódását a vérben (MOTOKI et al. 1998).

JUOVONEN et al. (2012) kutatásának célkitűzése az volt, hogy megvizsgálják az mTG által keresztkötésben lévő Na-kazeinát emészthetőségét (referencia: savófehérje), tudván, hogy a fehérjék emészthetősége és étvágyra gyakorolt hatása függ azok eredeti felépítésétől és a feldolgozási technológia hatására bekövetkező konformáció változástól. A kísérletben 13 egészséges fiatal vett részt (23.3 ± 1.1 év, BMI 21.7 ± 0.4 kg/m²). A kísérleti alanyok három különböző italt kóstoltak meg (Cas: Na-kazeinátos ital, Cas-mTG: mTG-vel kezelt Na-kazeinátos ital, Wh: savófehérje ital) véletlenszerű sorrendben (2. táblázat).

A kísérleti személyek étvágya nem változott jelentősen egyik ital fogyasztása esetén sem. Eredményeik alapján elmondható, hogy az mTG által kialakult keresztkötött fehérjék nem befolyásolták a Na-kazeinátos ital emészthetőségét.

2. táblázat Kísérleti savóitalok összetevői és tápértékei (JUOVONEN et al. 2012)

Összetevők	Cas	Cas-TG	Wh
Fehérjepor (g)	33,15	34,05	32,26
➤ Na-kazeinát (%)	86,3	84,0	92,9*
➤ Maltodextrin+laktóz (%)	6,1	5,0	0,5**
➤ mTG (%)	0,06	0,06	nincs

A programozott sejthalálban (apoptózis) csak a szöveti transzglutamináznak (TG2) van szerepe, ezért ennek diagnosztikai szerepe jelentős kutatási téma. Hazánkban a Debreceni Egyetem élenjáró ezen a területen (BLASKÓ 2007), az évente megrendezésre kerülő nemzetközi transzglutamináz konferencia gyakran meghívott előadói az ottani kutatók (GORDON RESEARCH CONFERENCES 2016)

A gluténérzékenység (cöliákia) esetén szintén a szöveti transzglutamináz (TG2) az, amelyik immunreakciót vált ki a szervezetben, mely magával vonja a vékonybél gyulladását (MÁRIÁSS 2013; GREEN et al. 2003). Kutatók kimutatták, hogy a TG2-vel szemben az mTG csökkentheti a gluténérzékenységet (ZHU et al. 1995), mert a szervezetben autoantigénként viselkedik a TG2 specifikus antigénnel szemben (PEDERSEN et al. 2004). Sőt, lengyel kutatók megállapították, hogy az mTG-vel kezelt (37 °C, 18 óra, enzim és siker aránya: 1: 10000) búzaliszt 30%-kal csökkenti a szervezet gluténre adott immunválaszt, így az enzimkezelt búzaliszt alternatívát jelenthet gluténérzékenyek számára (LESZCZYŃSKA et al. 2006).

1.3. Az mTG alkalmazásának törvényi keretei

A mikrobiális transzglutamináz enzim élelmiszeripari alkalmazását a 2001-ben közzétett GRAS engedély teszi lehetővé (BERNARD 2001). Az mTG élelmiszeripari elterjedtsége (lásd: 1.5. fejezet) szükségessé teszi a törvényi szabályozás ismeretét. A mikrobiális transzglutamináz enzimekre az élelmiszeripari enzimekre vonatkozó, 1331/2008/EK, 1332/2008/EK, 1056/2012/EU EU rendeletek előírásai érvényesek (OÉTI 2016). A gyártók számára a legfontosabb tudnivaló és egyben legnagyobb előny, hogy mint technológiai segédanyag, ez az enzim nem jelölés köteles. Ez alól azonban három kivétel van:

1. Amennyiben az enzimekészítmény laktózt is tartalmaz pl.: Activa YG, akkor fel kell tüntetni, hogy a termék allergén összetevőt tartalmaz.
2. Amikor restrukturált húshoz használják fel az mTG-t (a restrukturálás fogalmáról és alkalmazásáról szól az 1.5.2. fejezet), mert ekkor a 2014. december 13-án életbe lépett Gorny törvény szerint (GORNÝ 2014), a fogyasztók megtévesztésének elkerülése végett a termék csomagolásán fel kell tüntetni, hogy a termék több hússzelet összeragasztásával készült.
3. Amikor az enzim az élelmiszerben aktívan hat.

Az EFSA (European Food Safety Agency – Európai Élelmiszerbiztonsági Hivatal) előírásának megfelelően az élelmiszer enzimeket gyártóknak és forgalmazóknak hazánkban is engedélyeztetniük kell az enzimekészítményüket. A 2015. március 11-ig bejelentett enzimek a 2-3 év elbírálásig világhálón elérhető „pozitív listán” vannak (EFSA 2016), azaz használatuk addig

biztosan engedélyezett a megadott élelmiszeripari területen. Az mTG-re 3 bejelentés érkezett, amelyeket a 3. táblázatban mutatok be.

3. táblázat Bejelentett mTG termelő mikroorganizmusok (EFSA 2016)

Bejelentés száma	Enzimtermelő mikroorganizmus
2015/10	<i>Streptoverticillium mobaraense</i> (S-8112 törzs)
2015/169	<i>Streptomyces mobaraensis</i> (DSM40587 törzs)
2015/188	<i>Streptomyces mobaraensis</i> (DSM 40587 törzs)

A DSM a német törzsgyűjteményre utal, akik ugyanazt a törzset kétszer is bejelentették. A 2015/10 bejelentés alatt szereplő törzs használatát T.01 néven 2016. április 11-től már Kanadában is engedélyezik (HEALTH CANADA 2016).

1.4. Az mTG kereskedelmi forgalmazói és a kereskedelmi készítmények fajtái

A mikrobiális transzglutamináz enzimet a *Streptomyces mobaraensis* szubmerz (merítéses) fermentációjával állítják elő nagyüzemi léptékben, Japánban. Az eljárást európai és világszabadalom (UMEZAWA et al. 2003a, UMEZAWA et al. 2003b) védte 2014-ig.

A tisztított és porított enzim az alapja a különböző cégeknél forgalmazott enzimkészítményeknek, melyek az mTG-n kívül hordozókat, csomosódásgátlót és egyéb segédanyagokat tartalmaznak. Az enzimkészítmények pontos összetétele, az enzim részaránya ipari titok. Mindazonáltal a transzglutamináz gyártók és forgalmazók megadják a készítmény összetevőit és pontos enzimaktivitását (U/g) a megfelelő ipari alkalmazáshoz. Érdekességképpen jegyzem meg, hogy az Ajinomoto cég által gyártott régebbi, csak maltodextrint és mTG-t tartalmazó Activa MP termék esetén tudományos publikáció szerint a készítmény enzim tartalma 1% volt (BÖNISCH et al. 2007). Ezt az enzimkészítményt, az Activa MP-t, a húsipari kutatásokkal foglalkozó tudományos cikkekben Activa WM-ként (DIMITRAKOPOLOU et al. 2005, LANTTO et al. 2006) vagy Activa TI-ként (HONG et al. 2009; HONG et al. 2010; HONG et al. 2012) mutatják be, de mindkét esetben ugyanarról a termékről, összetételről van szó. Az Activa EB összetétele is ismert (CARBALLO et al. 2006; ROMERO et al. 2010), eszerint az enzim tényleges mennyisége a készítményben 0,5%, emellett tartalmaz Na-kazeinátot (60%) és maltodextrint (39,5%).

Manapság a legnagyobb gyártó a japán Ajinomoto cég, termékei közül az Activa YG a tejtermékekhez, az Activa TG HNF húsipari termékekhez dolgozta ki. Ezek fő összetevője a maltodextrin, mely mellett az Activa YG laktózt is tartalmaz. (részletes termékleírás az M4.

mellékletben) E készítményeket virsli (TG HNF, 2.3.7. fejezet), joghurt (Activa YG, 2.3.4. fejezet), étkezési túró (TG HNF, 2.3.5. fejezet) készítésénél alkalmaztam. Európában a spanyol BDF Natural Ingredients a legnagyobb cég, mely szintén az élelmiszeripari alkalmazáshoz szabott készítményeket forgalmaz. Így például a Probind TX pácolt húsokhoz, a Probind CH elsősorban oltós és savas alvasztású sajtok enzimek kezeléséhez ajánlott. Kísérleteimben a Probind CH-t alkalmaztam rögös túró (2.3.5. fejezet) és trappista sajt (2.3.6. fejezet) esetén.

A kereskedelmi forgalomban lévő Ajinomoto Activa enzimek készítmények (Activa RM, Activa GS, Activa TI, Activa YG) 25-140 Euro/kg áron kapható, közülük a legdrágább a tejipari alkalmazásban elterjedt Activa YG. (MODERNIST PANTRY, 2016). A BDF Ingredients által forgalmazott enzimek készítmények ára átlagosan 40 Euro/kg az adagolási javaslat alkalmazásonként eltérő, de általánosan elmondható hogy tejipari termékeknel 0,1%-ot használnak.

1.5. Az mTG alkalmazási területei az élelmiszeriparban

Az mTG élelmiszeripari elterjedésének fő oka a széles szubsztrátspecifitása volt (4. táblázat)

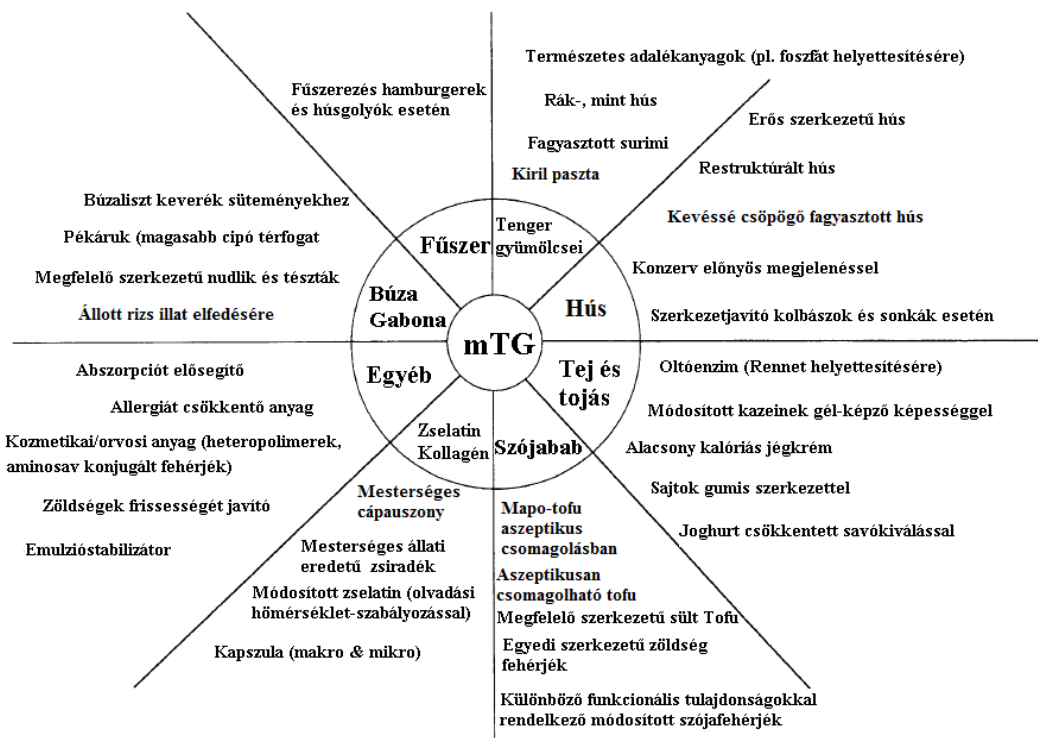
4. táblázat Az mTG szubsztrátspecifitása élelmiszerekben előforduló fehérjék esetén (AJINOMOTO 1998)

Szubsztrát		Szubsztrátspecifitás
Tejfehérje	kazein	jó
	Na-kazeinát	jó
	α -laktalbumin	alig
	β -laktalbumin	alig
Húsfehérje	miogloblin	alig
	zselatin	jó
	kollagén	közepes
	miozin	jó
Tojásfehérje	ovalbumin	alig
Búzafehérje	gliadin	közepes
	glutenin	közepes
Szójafehérje	11S globulin	közepes
	7S globulin	közepes

A tehéntejben a tejfehérjék 80%-át adó kazein az mTG kiváló szubsztrátja, a húsfehérjék közül pedig a miozin és a zselatin. Fontos megemlíteni, hogy a sikkéfehérje (gliadin) is

megfelelő szubsztrát az mTG számára, amelyet lisztjavítóként használnak. A szójafehérjék magas szubsztrátspecifitásuk miatt a húsipari termékek enzimkezelésének lehetőségeit bővítik (HWANG et al. 2004).

Az alábbi 7. ábra bemutatja az mTG enzim sokoldalúságát, és átfogó képet ad a mikrobiális transzglutamináz enzimmel elérhető eredményekről az élelmiszeriparban.



6. ábra Az mTG élelmiszeripari alkalmazásának lehetőségei (MOTOKI et al. 2000)

Az mTG hatásmechanizmusát tárgyaló áttekintő cikkek kiemelten foglalkoznak az enzimkezelés tejipari és húsipari szerepével és jövőbeni lehetőségeivel (MOTOKI et al. 1998; YOKOYAMA et al. 2004). Ennek megfelelően a szabadalmak többsége is e területeket érinti, rekonstruált hús, hal esetén öt szabadalom, a sajt esetén három született (SANTOS és TORNÉ 2009).

1.5.1. Az mTG alkalmazása a tejiparban

Az mTG-vel kezelt tejtermékekben az enzim fehérjehálót hoz létre úgy, hogy a tejben lévő szabad aminosavak és a tejfehérje mátrix között keresztkötést alakít ki (ABD-RABO et al. 2010). Az enzimkezelés hatására a tej aminosav összetétele megváltozik, így pl. tehéntej esetén a Glu (glutamin) és Arg (arginin), míg bivalyetej esetén a Lys (lizin) és a Val (valin) épül be a természetes felfölöződés során (ABD-RABO et al. 2010). Fermentált tejtermékek esetén a kialakuló szabályos fehérjeháló a joghurt savóeresztését (szinerézis) csökkenti (MILANOVIĆ et al. 2007). Továbbá a térháló által biztosított állomány lehetővé teszi, alacsony zsírtartalmú

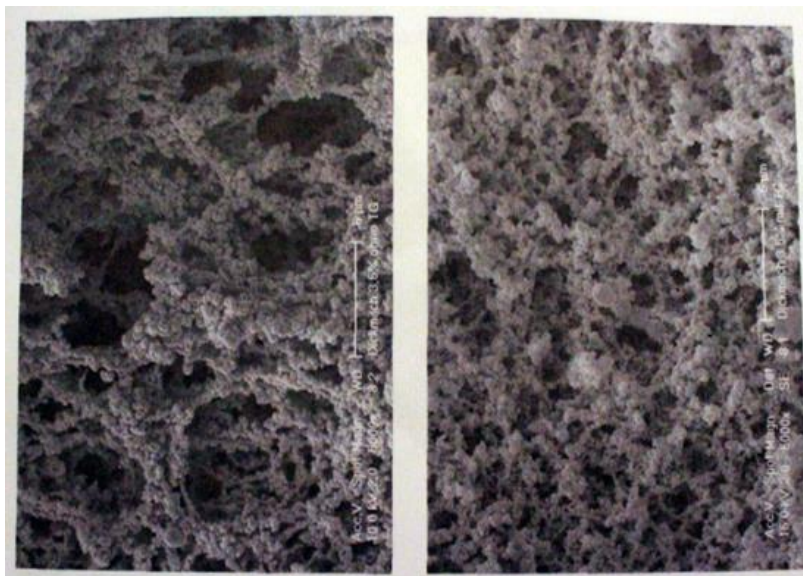
joghurt esetén is, a megfelelő gélszilárdság kialakulását (OZER et al. 2007). A trappista sajt gyártása során a termelés növelése, a tejkomponensek nagyobb arányú hasznosítása és ezzel a savó mennyiségének, ill. hasznosanyag-tartalmának csökkentése érdekében a mikrobiális transzglutamináz enzimnek szintén fontos szerepe van (POLGÁR et al. 2010). Az ömlesztett sajtok hőstabilitása javul (POLAINA és MACCABE. 2007), így az enzimkezelt termék állománya a hőkezelés ellenére is változatlan marad.

Desszert termékek közül irodalmi áttekintésem alapján egyedül a jégkrém enzimkezelésére találtam példát. A brazil kutatók az mTG-t pasztörözött tejhez adták (4 U/g, enzimkezelés: 56,8 °C, 90 perc, inaktiválás: 80 °C, 2 perc), amely nagy molekulatömegű polimerek képződéséhez és ezáltal (a hagyományosnál) jobb pszeudoplasztikus tulajdonságokkal rendelkező termék kialakulásához vezetett. (NUERNBERG ROSSA et al. 2011). Németországban enzimkezelt sovány tejből készült tejport használtak puding készítéséhez és azt tapasztalták, hogy a termék viszkozitása megnőtt, de az mTG nem tudta szignifikánsan növelni a megköthető víz mennyiségét. Az mTG és a hidrokolloidok közti kölcsönhatások tanulmányozása során arra jutottak, hogy a majomkenyérfa mag és a guármagliszt nem befolyásolta az mTG működését, de a karragénnel együtt alkalmazva az enzimkezelt soványtejpör gélszilárdsága leromlott. Amennyiben az enzimet az emulgeálás után alkalmazták, akkor javult az emulzió stabilitás (ROHENKOHL és MECHELHOFF 2006)

Mindazonáltal jelentős különbség van az egyes kazeinfehérjék keresztkötésre való alkalmassága között. Azaz a mikrobiális transzglutaminázzal való reakcióképességük/szubsztrátspecifitásuk alapján a következő sorrend állítható fel: α_2 -kazein > β -kazein > κ -kazein > α_1 -kazein (MACIERZANKA et al. 2011).

1.5.1.1. Az mTG felhasználása fermentált tejtermékeknél

Több kutató számolt be az enzim állománymódosító hatásáról habart (CANCINO et al. 2006; JAROS et al. 2007, BÖNISCH et al. 2007a; SÁRI et al. 2007) és pohárban alvasztott (GAUCHE et al. 2007; YÜKSEL és ERDEM. 2010; WROBLEWSKA et al. 2010, ŞANLI et al. 2011) joghurt esetén. Ezek olyan termékek, amelyek gyártásánál fontos a megfelelő gélszerkezet kialakulása. (AJINOMOTO 1998). A joghurtban az enzimkezelés hatására 106-107 g/mol mőtömegű fehérje polimerek keletkeznek, úgy hogy a tejben lévő lizinnek csak 1-2%-a kerül keresztkötésbe. A raszter elektronmikroszkópos felvétel is mutatja, hogy az enzimkezelés hatására a fermentált tejtermékekben „szorosabb” fehérjeháló alakult ki, amelyben a fehérjék egyenletesebben helyezkednek el (7. ábra).



7. ábra Rasztermikroszkópos felvétel a pohárban alvasztott fermentált tejtermékről (bal oldali: kontroll tejből, jobb oldali: enzimkezelt tejből) (LORENZEN 2006)

Ezek a fehérje aggregátumok mindazonáltal olyan tartósak (stabilak) hogy habarás sem hat rájuk (LORENZEN 2006). Az enzim alkalmazásával alacsony zsírtartalmú tejből is előállítható jól kanalazható termék (BÖNISCH et al. 2007a; GUYOT et al. 2011; ILČIĆ et al. 2008; OZER et al. 2007; KONCZ et al. 2009).

Pohárban alvasztott joghurt esetén megfigyelték, hogy a gélszilárdság lineárisan növekedett 3 U/g fehérje enzim koncentrációig, de ennél nagyobb koncentrációnál már savó kiválás tapasztaltak, a joghurt törékennyé vált (BERNARD 2001). Német kutatók sovány tejből (fehérje: 3,4%) fehérje dúsítást követően (max fehérje: 4,9%) alacsony zsírtalmú habart joghurt gyártását dolgozták ki kétféle eljárással. Az egyik esetben aktív maradhatott az enzim a késztermékben is (BÖNISCH et al. 2007b) a másik kísérlet esetén azonban inaktiválták az mTG-t (BÖNISCH et al. 2007a), amint azt az 5. táblázat is mutatja.

Amennyiben sovány tejhez (fehérje: 3,4%) adták az mTG-t, és enzimkezelést követően (Activa YG, 0-4 U/g fehérje, 40 °C, 3 óra) az enzimet inaktiválták (95 °C, 3 perc), majd ezt követően adták a joghurtkultúrát a tejhez, akkor akár 0,5-0,75 U/g fehérje is elegendő volt a megfelelő gélszilárdság eléréséhez (, BÖNISCH et al. 2007a). Mindazonáltal megfigyelték, hogy az enzimkezelt tej alvadása esetenként 20-40 perccel lassabb volt, mint a hagyományos technológia esetén. A kutatók azt tapasztalták, hogy a titrálható savtartalom is lassabban csökken a fermentáció alatt, amely arra utalt, hogy a tejsavbaktériumok szaporodását gátolta az enzimkezelt tej. A kísérletek kimutatták, hogy ennek hátterében a *Lactobacillus delbrueckii subsp burgaricus* tke (telepképzőegység) értékének csökkenése állt.

5. táblázat Habart joghurt gyártása különböző enzimkezeléssel
(Bünisch et al 2007a, Bönisch et al. 2007b)

Habart joghurt gyártása	mTG inaktiválódik (Bönisch et al. 2007a)	mTG aktív lehet (Bönisch et al. 2007b)
1., Enzimkezelés (42 °C, 3 óra)	✓	x
2., Kétlépcsős homogenizálás	✓	✓
3., Hőkezelés (95 °C, 3 perc)	✓ = inaktiválás	✓
4., Fermentáció (42 °C, pH 4,6-ig)	✓ = beoltás	✓ = beoltás + mTG
5., Habarás és hűtés (20 °C)	✓	✓
6., Érlelés és tárolás (4 °C)	✓	✓ = mTG aktív lehet

Továbbá a tárolási kísérlet (3 hét, 6 °C) alatt azt figyelték meg, hogy az enzimkezelt joghurt utósavanyodása 4-6%-kal elmaradt a hagyományos termékekétől viszont a gélszilárdsága körülbelül kétszerese volt a szilárdabb fehérje szerkezet miatt. Az enzimkezelt joghurt savóeresztése ebből adódóan 15-20%-kal alacsonyabb volt (LORENZEN et al. 1999). Ez a gyártástechnológia azonban hosszadalmas és a hőkezelés miatt költséges is ezért Németországban előzetesen enzimkezelt sovány tejből készült tejpor hozzáadásával is kísérleteztek (GUYOT et al. 2011). Az enzimkezelt (enzim koncentráció: 10 U/g, enzimkezelés: 40 °C, 2 óra, inaktiválás: 85 °C, 2 perc) tejjel készült joghurt viszkozitása közel kétszeresére emelkedett (kontroll: 247 mPas, 10 U/g mTG-vel: 453 mPas), a centrifugálással mért savóeresztés (szinerézis) majdnem 5%-kal csökkent (kontroll: 57,1%, 10 U/g mTG-vel: 52,6%). Továbbá az enzimkezelt sovány tejpornak köszönhetően a megfelelő viszkozitás eléréséhez csak fele annyi fehérje hozzáadására volt szükség, mint különben (GUYOT et al. 2011). Ezzel egyidőben ugyanezt a technológiát kipróbálták egy németországi vezető tejipari vállalatcsoport üzemében is, más enzimkezeléssel (enzim koncentráció: 3 U/g, enzimkezelés: 45 °C, 5 óra, inaktiválás: 80 °C, 5 perc), de az enzimkezelt joghurt állománya a kontrollnál is rosszabb volt (MÜLLER 2010). Mindazonáltal görög kutatók YF-L811-es DVS kultúra alkalmazásával 1,8% zsírtartalmú tejből tudtak olyan joghurtot készíteni, amely a megfelelő enzimkezelés megválasztásával (enzim koncentráció: 0,04%, enzimkezelés: 45 °C, 120 perc, inaktiválás: 90 °C, 10 perc) jobb viszkozítású és kevésbé savóeresztő joghurtot eredményezett (APRODU et al. 2011).

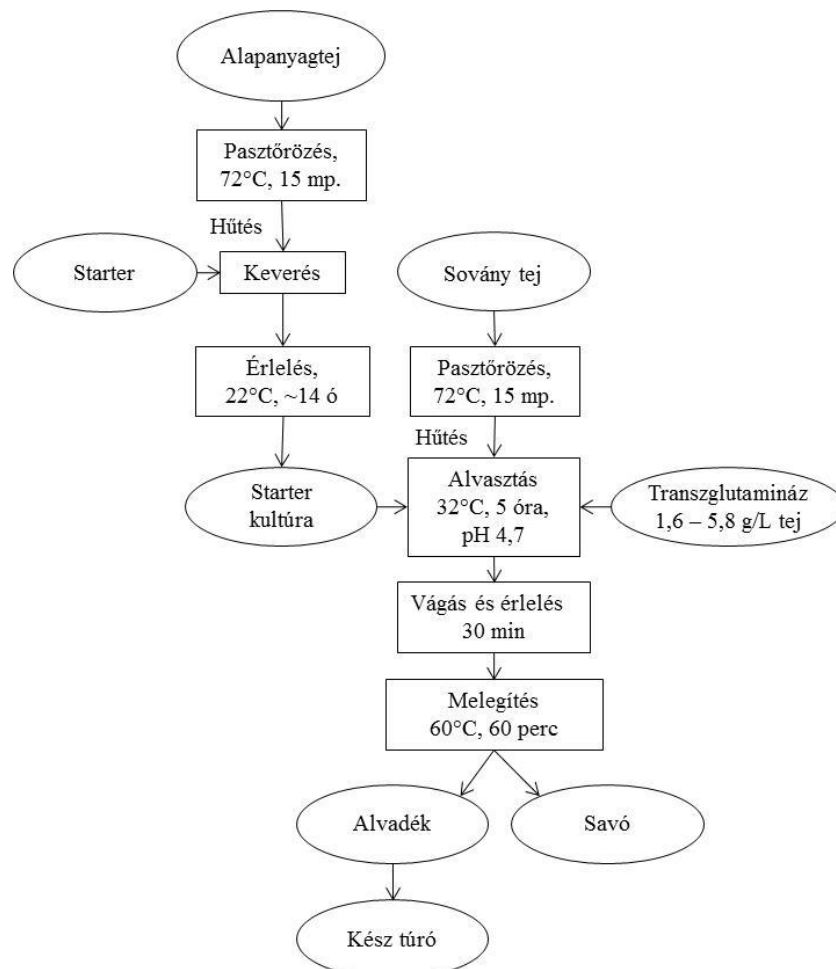
Azaz elmondható, hogy az enzimadagolásnak és enzimkezelés körülményeinek megértése fontos a széleskörű és megbízható ipari alkalmazás érdekében. Az enzimadagolás szerepét a későbbi kísérleti részben mutatom be, továbbá vizsgáltam azt a felvetést is, miszerint az

inaktiválás nélküli joghurtok szemcsések, csomósak lesznek (BÖNISCH et al. 2007a) és a tárolás alatt kedvezőtlen állomány kialakulásához vezetnek. Ennek kérdését magam is vizsgáltam (3.2.1.4. fejezet).

1.5.1.2. Az mTG felhasználása savas alvasztású sajtoknál

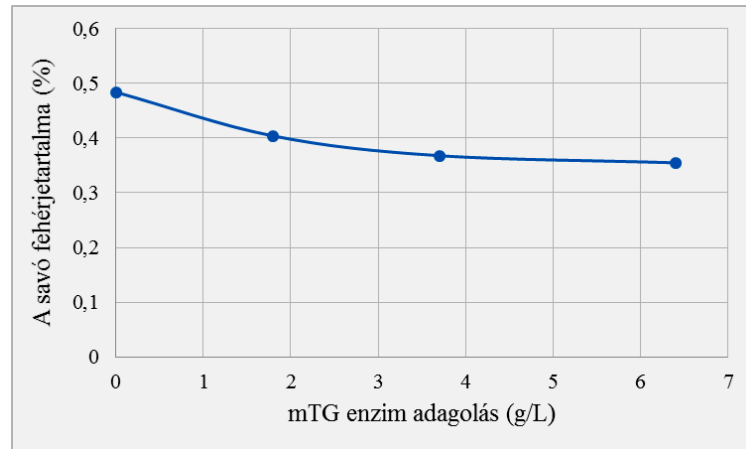
A túró alvadék elektronmikroszkópos vizsgálata kimutatta (11. ábra), hogy az enzimezelt túróalvadék kisebb fehérjereszcskéket tartalmazott, és az azok közötti üres terek is kisebbé váltak. Ezzel magyarázható a savóeresztés/szinerézis jelentős csökkenése illetve elmaradása. Ezek alapján az mTG keresztkötő mechanizmusa jelentős hatással van mind az alvadék sűrűségére, mind a savófehérje alvadékba való beépülésére. A kevésbé törekeny alvadék következménye, hogy a savóban kevesebb finom alvadékrészecske marad.

LORENZEN et al. (2002) vizsgálták, hogy a túrógyártás során miként hat az mTG által létrehozott keresztkötés, a mezofil tejsavbaktériumok tejsav termelésére. Megállapították, hogy a tejsavbaktériumok működése zavartalan volt, mert a keresztkötések kialakulása előtt lebontották az aminosav igényüket fedező kazein fehérjét. A mikrobiális transzglutamináz enzimmel készülő savas alvasztású túró gyártás technológiájára 8. ábra ad példát.



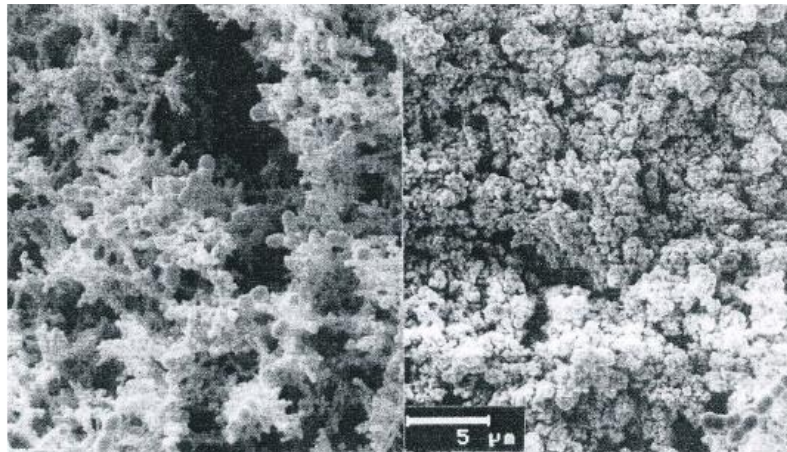
8. ábra Savas alvasztású túró gyártásának folyamata (HAN et al. 2003)

HAN et al. (2003) vizsgálták az enzimadagolás hatását is, és eredményük bizonyítja, hogy az mTG enzim által létrehozott keresztkötések visszatartották a savófehérjét a túróban, ennek következtében a savó fehérje tartalma az enzim koncentráció növelésével csökkent (9. ábra).



9. ábra Az mTG enzim koncentrációjának hatása a túrósavó fehérjetartalmára (HAN et al. 2003)

Ennek következtében a kontroll mintához hasonlóan 26%-kal több savófehérje épült be a túróalvadékba. LORENZEN et al. (2002) az étkezési túróhoz az mTG enzimet 1:2000 enzim-szubsztrát arányban alkalmazták (enzimkezelés: 40 °C, 2 óra; inaktiválás: 80 °C, 1 perc). Az alábbi mikroszkópos képen (10. ábra) is látható, hogy a fehérjeháló „szorosabbá” a fehérjék eloszlása egyenletesebbé vált az enzimkezelés hatására.



10. ábra A túró alvadék raszter mikroszkópos képe (bal oldali: kontroll túró, jobb oldali: enzim-kezelt túró) (LORENZEN et al. 2002)

Az enzimkezelt tejből készült túró nem rögös állományú volt, hanem inkább krémes és lágy. Az enzimkezelés hatására a kihozatal 2%-ot javult. (LORENZEN et al. 2002)

1.5.1.3. Az mTG felhasználása oltós alvasztású sajtoknál

A nagyüzemi sajtgyártás során a kitermelési százalék növelése és a savó mennyiségének csökkentése döntő fontosságú. A hagyományos sajtgyártás valójában a fehérjék és a zsír koncentrációja, melynek során a sajtban feldúsulnak az alapanyag-tej összetevői, miközben a savófehérjék, a laktóz, ill. egyéb vízoldható mikromolekuláris anyagok a savóval eltávoznak (LEHMANN és WASEN. 1991; MORISON 1997). A sajtgyártásban a kihozatal növelésének legígéretesebb módja a sajtban hasznosuló fehérjék mennyiségének növelése, célszerűen a savófehérjék sajt-alvadékba történő beépítése révén (LAWRENCE et al. 1989; KESSLER 1996).

A mikrobiális transzglutamináz enzim felhasználását két körülmény nehezíti POLGÁR et al. (2010) szerint, egyrészt az mTG gátolja az oltóenzim működését, így rontja az alapanyag-tej alvadási tulajdonságait, az alvadék szerkezetét, így a sajt minőségét is, másrészt véleményük szerint az enzim hasonló felépítésű fehérjék (kazein-kazein, savófehérjék-savófehérjék) között is létesít keresztkötéseket, emiatt magas enzimkoncentrációra van szükség a kellő hatékonysághoz, ez viszont drágítja a technológiát. Kísérleti eredményeik szerint az optimális arányok megtartása mellett mTG felhasználásával azonos mennyiségű sajt előállításához 20%-kal kevesebb alapanyagra van szükség (POLGÁR et al. 2010).

Az imént említett hazai példát összehasonlítottam a külföldi irodalomban olvasottakkal, a kutatási eredményeket az alábbi 6. táblázatban összegeztem külön választva a sajtokat kategóriák szerint (lágy, félkemény, kemény).

6. táblázat Az enzimkezelt sajtjal kapcsolatos hazai és külföldi kutatási eredmények
(Saját szerkesztés)

Sajt típusa (érelési idő)	Sajttej (zsír tart. %)	Enzimadagolás (U/l tej)	Sajt kihozatal (kg sajt/ 10 l tej)	Származási ország	Forrás
Cheddar (4 hét)	nincs adat	30	1.05	Japán	KURAISHI et al. (1997)
Edámi (8 hét)	pasztőrözött	132	1.30	Finnország	AALTONEN et al. (2014)
Trappista (nincs adat)	2,80-3,10 pasztőrözött	3-24	1.21	Magyarország	POLGÁR et al. (2010)

Sajt típusa (érelési idő)	Sajttej (zsír tart. %)	Enzimadagolás (U/l tej)	Sajt kihozatal (kg sajt/ 10 l tej)	Származási ország	Forrás
Félkemény (5 hét)	teljes tej (min. 3,5%) pasztőrözött	2	1,48	Olaszország	DI PIERRO et al. (2010)
Lágy (1 hét)	teljes tej (min. 3,5%) nyers tejből	75-240x10 ³ *	1,51	Olaszország	COZZOLINO et al. (2003)
Lágy (nincs adat)	teljes tej (min. 3,5%) nyers tejből	60	1,86	Irak	WALEED és NAWAL (2009)

1 Unit = CBZ-Glu-Gly és hidroxilamin reakciója során percenként 1,0 μmol hidroxamát képződését katalizálja pH = 6,0 kémhatás mellett 37 °C-on.

*1 Unit = 38 pmol [3H] spermidin beépülése DMC (N,N-dimetilált kazeinbe) óránként 25 °C-on

Az 5. táblázatból kiderül, hogy leginkább teljes tejből készültek a sajtok és Olaszországban nyerstejből indultak ki. Hazánkban a nyerstej alkalmazása csak a kézműves sajtgyártóknak engedélyezett, nagyipari sajtgyártók csak pasztőrözött tejből indulhatnak ki. Az mTG létjogosultsága hazánkban a legnagyobb mennyiségben előállított trappista sajt esetén is csak kimagasló kihozatal mellett képzelhető el, hiszen az enzim költségét feltétlenül fedezni kell. Ököltszabályként elmondható, hogy 10 liter tejből 1 kg sajt állítható elő. Ennek megfelelően a POLGÁR et al. (2010) által elért 8,24 liter tej/kg sajt jó eredménynek számít, de fontosnak tartom megérteni az enzimkezelés időzítésének szerepét, hiszen az olasz kutató csoport (DI PIERRO et al. 2010) 6,75 liter tej/kg sajt kihozatalt ért el úgy, hogy az mTG-t az alvadék felvágása után alkalmazta. Az enzimadagolás időzítésének kihozatal és állománymódosító szerepét a 3.3.1. fejezetben ismertetem.

1.5.2. Az mTG alkalmazása a húsiparban

Az mTG keresztkötése hatására az oldható fehérjék oldhatatlan nagy molekulatömegű polimerekké válnak ezzel lehetővé téve a restrukturált húsok előállítását (SUN, 2009). Az izomfehérjék, különösen a miozin, és az mTG között keresztkötések jönnek létre, melyek

erősebbé teszik az így kialakult fehérjehálót (HUANG et al. 1992). Hús, ill. a haltermékek esetében az mTG növeli a termék keménységét, ezzel jelentősen befolyásolva annak minőségét (SAKAMOTO et al. 1994). Sok esetben úgy találták, hogy az mTG a kazeináttal együtt tudja leginkább kifejteni a hatását (MOTOKI et al., 1998; KURAISHI et al. 2001). Ez esetben só/foszfát felhasználása nélkül is el tudták érni a megfelelő vízkötő képességet, és a szerkezet is ellenállóbb lett a hőhatással szemben a kialakult kovalens természetű izopeptid kötéseknek köszönhetően (MOTOKI et al., 1998). A húsipari alkalmazása a restrukturált húsoknál a legkézenfekvőbb. Ez esetben húsragasztóként (angol: meat-glue) alkalmazó gasztronómia vékony steakek összeragasztására használja a hideg-kötő (angol: cold-set binding) tulajdonságából adódóan, melyet a japán kutatók fedeztek fel először. Sajnos vágóhídi melléktermékek összeragasztásárais használják Dániában. Mindazonáltal az egészségtudatosabbá váló vásárlók miatt nagyobb piaci lehetőség rejlik a csökkentett só és/vagy foszfát tartalmú termékek előállításában. E témával fontossága és időszerűsége miatt magam is foglalkoztam (kísérletek ismertetése pácsó: 3.4.2. fejezet, foszfát: 3.4.3. fejezetben)

1.5.2.1. Az mTG alkalmazhatósága fehér- és vöröshúsoknál

Az mTG-t fehér- és vöröshúsoknál egyaránt alkalmazzák. A fehér húsok közül például a pulykamell (ASHIE et al. 1999), csirkemell (MUGURUMA et al. 2003), a halak közül a csíkos márna (*Mugil cephalus*) (RAMÍREZ et al. 2006), és a Braziliában közkedvelt fehér árnyékhal (*Micropogonias furnieri*) esetén (GONÇALVES és PASSOS 2010) végeztek kutatásokat. A vörös húsok közül a marhahúsnál (IONESCU et al. 2008, DONDERO et al. 2006), a sertéshúsnál (FLORES et al. 2007) egyaránt megfelelő állománymódosítónak bizonyult.

1.5.2.2. Az mTG alkalmazása pácolt, restrukturált termékeknél

A hús szerkezete mikrobiális transzglutamináz enzim segítségével javítható, mivel az enzim az oldható fehérjék esetén fejti ki aktivitását. A gyártáskor alkalmazott sókeverék segít oldatba vinni a húsfehérjéket. A nitrites sókeverék hozzáadása a nedves pácolási technológia során a tumblerezés közben történik. Az elsőrendű kötések kialakításával igény szerinti méretű és alakú húsáru készíthető (DIMITRAKOPOLOU et al., 2005).

Restrukturált szárított sonka esetében ROMERO et al. (2010) végeztek kísérleteket. A kutatók tanulmányozták, hogy az Activa EB enzimekészítményt por alakban, ill. folyékony oldatban (0,1% mTG 3% NaCl-ban oldva) a hús felszínén alkalmazva az így „összeragasztott” sonkafelületek milyen képet mutatnak. A sonkaszeleteket vizsgálták enzimkezelés után

(csontozott sertécsülköt 2% sókeverékkel és mTG-vel kezelték, vákuum csomagolták és 7 °C-on tárolták) és 8 napos szárítást (15 °C, 80% RH) követően. A pásztázó elektronmikroszkóppal megfigyelték, hogy az enzimkezelt mintákban 8 hét alatt tömör szöveti szerkezet alakult ki, amelyet vastaggá vált izomrostok hálóztak be egyúttal a két felület határai elmosódtak. Ezt tükrözte a mintákban mért kötési erő értéke is, amely a 8 nap szárítás alatt a porként és a vizes oldatként alkalmazott enzimadagolás esetén egyaránt megháromszorozódott (0. nap: 2 N/cm², 8. nap: 6 N/cm²).

KURAISHI et al. (1997) többféle szubsztráttal: nátrium-kazeináttal, szójafehérjével, savófehérjével és zselatinnal kombinálták a mikrobiális transzglutaminázt, és a legmegfelelőbb tulajdonságokat a nátrium-kazeinát alkalmazása során tapasztalták. Arra a megállapításra jutottak, hogy az mTG alkalmazása hűtött, nyers húsnál célszerű.

HATTEL et al. (2005) szerint az enzimkészítményt (Activa EB) vizes oldatban 1:4 arányban kell alkalmazni, mert ezzel biztosítható, hogy az mTG-t a kötő felületre egyenletesen fel lehessen vinni és ez által hibátlan metszészlapja lehet a terméknek.

Amikor az Activa WM enzimkészítményt alkalmazták, akkor az még a viszkozitást javító xantán hozzáadása után sem tudta megfelelően egymáshoz „ragasztani” a felületeket. Felhívták a figyelmet arra is, hogy a túl magas vízáktivitás az enzim hatékonyságát rontja, mert a szabad víz megakadályozza az izopeptid kötés kialakulását, mely a húsrészek összetapadását eredményezné. A pácolás során tehát a szabad víz megkötése elengedhetetlen.

1.5.2.3. Az mTG alkalmazása vörösáruknál

Az egészségesebb táplálkozás érdekében elsődleges kérdéssé vált a vörösáruk esetén, hogy a felhasznált zsírt helyettesíteni tudják növényi vagy halolajjal (BLOUKAS et al. 1997).

Egy kutatócsoport (DELGADO-PANDO et al. 2010) bebizonyította, hogy az ipari szalonna helyettesítése olaj a vízben (O/V) típusú emulzióval járható út. Olíva- (44,39%), lenmag- (37,8%) és halolajból (17,74%) álló olaj-víz típusú emulziót alkalmaztak, melyet előtte stabilizáltak Na-kazeináttal (1,8%), szójafehérjékkel (10%), és mTG enzimet (0,68%) is adtak hozzá. Ennek eredményeként a termék nemcsak egészségesebb lett, mert a zsírsavak aránya eltolódott a telítetlenek felé, hanem a konzisztenciája is jobb lett, mert elveszítette a szivacsos szerkezetét, egyúttal tömörebb is lett. Önmagában az olaj-víz típusú emulzió nem változtatta meg. Az így kialakított fehérjeháló az mTG hatására erősebb lett, mert a Na-kazeinát és a szójafehérjék nagyon jó szubsztrátnak bizonyultak (MOTOKI és SEGURO 1998). Ehhez hozzájárulhatott, hogy az enzim az izomfehérjékkel is keresztkötést alakít ki (FENG és XIONG 2002).

LANTTO et al. (2006) almasűrítményporral, tirozináz és mTG enzimmel készített húspép gélzilárdságát vizsgálták. Az mTG enzimes oldat készítésekor hozzáadott vizet 0,3 mmol/l ciszteinnel egészítették ki, hogy növeljék az mTG aktivitását. Az volt a feltételezésük, hogy ezzel egyrészt az enzim kötőhelyén lévő aktív szulfilhidril csoport redukált állapotban tartható, másfelől csökkenthető a diszulfid hidak száma, amellyel az enzim hozzáférhetősége, azaz reakciókészsége javítható (WILCOX és SWANGOOD. 2002). Mivel a húspanban lévő miofibrilláris fehérjék, a miozin és az aktin nem tartalmaz diszulfid hidakat, csak cisztein láncvégeket (LIU et al. 2000), ezért az enzimkészítmény aktivitását nem tudták fokozni.

Hazánkban az Országos Húsipari Kutatóintézetben (röviden: OHKI) végeztek kísérleteket vörösáru modell termékeken a Nutrimeat elnevezésű EU által társfinanszírozott nemzetközi Tech. Food pályázat magyar résztvevőjeként (NUTRAMEAT 2008). A kutatás végső célja funkcionális parízer előállítás volt és ennek érdekében az olívaolaj (5%, 15%, 30%), a zabkorpa (1%, 3%) és az mTG (0,1%, 0,3%) mennyiségének állománykialakító szerepét vizsgálták. Az enzimet a 2% pácsóval, a 0,3% foszfáttal ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) és a 0,05% Na-aszkorbáttal előzetesen vízben feloldották, majd ezt követően adták az 500 g húspéphez. A hőkezelés 72 °C maghőmérsékletig történt. Eredményeik alapján az mTG nem befolyásolta a hőpenetrációs görbét, sem a főzési veszteséget, sem a termék színét. Amennyiben a parízer 1% zabkorpával és 5% olívaolajjal készült, már 0,1% mTG adagolás hatására szignifikánsan nagyobb keménységet (kontroll: 60 N, enzimes: 80N) mértek az enzimkezelt termékénél. Az érzékszervi bírálatnál minden vizsgált jellemző esetén (lédúság, keménység, szelet összetartás, zsírosság) jobbnak értékelték az enzimkezelt terméket (KOVÁCS és ZSARNÓCZAY 2007).

Manapság nagy figyelmet fordítanak az mTG enzim segítségével előállítható, csökkentett só és foszfát tartalmú húsipari termékekre (Allais, 2010). Az mTG használatával lehetővé vált a hústermékek esetén a só, ill. a foszfát kihagyása vagy a felhasznált mennyiségük csökkentése (PAARDEKOOOPER ÉS WIJNGAARDS 1986). Mindazonáltal, más irodalmi forrás szerint a foszfát és a só alkalmazásakor az mTG jobban tudja fejteni hatását (JIANG és YIN 2001). Az adalékanyagok és az mTG enzim közötti kölcsönhatások megértése érdekében magam is végeztem kísérletet, melyek során a foszfát-, a sóadagolás és az enzimkezelés szerepét is vizsgáltam (3.4.2.-3.4.3. fejezet).

COLMENERO et al. (2005) arra jutottak, hogy amikor az mTG-t kazeináttal, KCl-al és rostokkal együtt alkalmazzák, akkor az alacsony sótartalmú termékek fizikokémiai jellemzői vetekednek a hagyományossal. Az mTG által katalizált intra- és intermolekuláris kovalens kötések során kialakuló miofibrilláris fehérjepolimerek helyrehozzák (restaurálják) a PSE (Pale Soft Exudative = Halvány Puha Vizenyős) hús állományát (MILKOWSKI és SOSONICKI 1999).

1.5.2.4. Az mTG alkalmazása szárazárúknál

A japán Ajinomoto cég 3 különböző receptúra és gyártástechnológia esetén vizsgálta az mTG állománybefolyásoló hatását gyorsérlelésű szárazárúknál (7. táblázat).

7. táblázat Gyorsérlelésű szárazáru kezelése mikrobiális transzglutaminázzal (BUDEMANN 2002)

1. kísérlet	2. kísérlet	3. kísérlet
Recept		
37,5 kg sertés hús 37,5 kg marha hús 25,0 kg zsír	75 kg sertés hús - 25,0 kg zsír	33,0 kg sertés S II. 34,0 kg marha M II. 33,0 kg sertés S VII (zsír)
Adalékanyagok		
2,8% pácsó 0,05% Na-aszkorbát 0,6% glükóz Activa WM (%): 0,05; 0,1 Activa EB (%): 0,1; 0,2	2,8% pácsó 0,025% Na-aszkorbát 0,5% glükóz Activa WM(%): 0,04 0,08; 0,16	2,8% pácsó 0,025% Na-aszkorbát 0,5% glükóz Activa WM (%): 0,06; 0,13 Activa EB (%): 0,13; 0,26
Hőmérséklet		
1. nap: 28 °C 2. nap: 25 °C 3. nap: 20 °C	1-3. nap: 23 °C, 90% RH. 4-8. nap: 20 °C, 85% RH 9-15. nap: 15 °C, 80 % RH	1. nap: 24 °C, 95% RH. 2-3. nap: 19-23 °C, 85-93% RH 3-7. nap: 17-18 °C, 84% RH

Tapasztalataink szerint az mTG hatással van a gyorsérlelésű szárazárúkra, mert jobb szeletelhetőséghez vezet és biztosítja a formatartást akár egyedi formák esetén is. Nem befolyásolja a pH alakulását és nem hat sem a vízakativitás, sem a szárítási veszteség alakulására.

Mindazonáltal a cukortartalmat célszerű az enzimekészítményben lévő maltodextrin miatt 0,6%-ról 0,5%-ra csökkenteni. Az enzimekészítmény (Activa WM) javasolt adagolása 0,05-0,1% (BUDEMANN 2002).

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A kísérletek helye és azok műszerezettségé

A doktori disszertáció kísérleti megvalósítása döntően a Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Karának, Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszékén történt.

A modell oldatokkal kapcsolatos mérések egy részét máshol végeztem:

- **Neutronspektrometriás mérés:** Budapesti Neutron Központ MTA Wigner FK Szilárdtestfizikai és Optikai Intézetének Neutronspektroszkópai Osztály (MTA-Wigner-FK)
- **Osszcillációs mérés:** Drezdai Műszaki Egyetem, Élelmiszertechnológiai és Biotechnológiai Intézet (TU Dresden)

A sajt enzimaktivitásának közvetlen és közvetett meghatározásakor:

- **Hidroxamát mérés:** Darmstadti Főiskola, Kémia és Biokémia Tanszék (HDA-FCB)
- **Fluorescens mérés:** Darmstadti Főiskola, Kémia és Biokémia Tanszék (HDA-FCB)
- **Fehérjetartalom mérés (Lowry):** Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék (SZIE-ÉTK-ÉMT)
- **Tej, tejszín gyors analitikai vizsgálata:** Etyektej, herceghalmi üzem

2.1.1. Magyarországi berendezések

- KERN MLS-N gyors nedvességmeghatározó berendezés (SZIE-ÉTK-HÁT)
- CR 400 színmérő (SZIE-ÉTK-HÁT)
- Labor-Mix LP-102 termosztát (SZIE-ÉTK-HÁT)
- Armfield FT-20A sajt-kád (SZIE-ÉTK-HÁT)
- CS350 EL főző-füstölő (SZIE-ÉTK-HÁT)
- Robot-Coupe R502 kutter (SZIE-ÉTK-HÁT)
- Brema GB902W jégdara-gyártó (SZIE-ÉTK-HÁT)
- Multivákuum-csomagológép (SZIE-ÉTK-HÁT)
- Yellow Submarine kisszögű szórásvizsgáló berendezés (MTA-Wigner-FK)
- MLW RH3 mágneses keverő (MTA-Wigner-FK)
- Mikro 120 centrifuga (MTA-Wigner-FK)
- Lactoscan Milk Analyzer (Etyektej)

2.1.2. Németországi berendezések

- ARES RFS3 típusú reométer (TU Dresden)
- Tecan GENios mikrotiter olvasó (HDA-FCB)

2.2. Felhasznált vegyszerek

2.2.1. Vegyszerek a mikrobiális transzglutamináz enzim aktivitásának közvetlen vizsgálata során

2.2.1.1. Hidroxamát módszer esetében

A hidroxamát módszert az alkalmazott kereskedelmi enzimkészítmények (Activa YG, Activa TG HNF, Probind CH) tényleges enzimaktivitásának megállapításához használtam. A hidroxamát méréshez szükséges vegyszerek: a hidroxilamin a Sigma-Aldrich Chemie GmbH (Taufkirchen, Németország) terméke, a CBZ-Gln-Gly, a Bachemtől (Bubendorf, Svájc) szereztem be. A sósav a Reanal Finomvegyszergyár (Budapest, Magyarország) a vas-klorid és a triklórecetsav a Carlo Erba Reagents SAS (Val de Reuil, Franciaország) gyártmánya volt.

2.2.1.2. Fluorescens dipeptid módszer esetében

A dipeptid módszerhez a Darmstadti Főiskolám, Prof. Dr. Hans-Lothar Fuchsbauer által szintetizált (PASTERNAK et al. 1997) danzilált ZQG-DNS-t [1-N-(karbobenzoxi-L-glutaminilglicil)-5-N-(5-N',N'-dimetilaminonaftalénszulfonil)diamidopentán] használtam. A citromsav a Sigma-Aldrich Chemie GmbH (Taufkirchen, Németország) terméke. Az alkalmazott tiszta mTG a braunschweigi DSMZ törzsgyűjteményből (Németország) származott, a *Streptomyces mobaraensis* Nr. 40847, melynek tényleges enzim aktivitása: 15 U/ml oldat volt.

2.2.2. Vegyszerek a mikrobiális transzglutamináz enzim aktivitásának közvetett vizsgálata során

2.2.2.1. Savanyú kazein modell oldatok vizsgálata során

A savanyú kazein modell oldat előállításához a Sigma-Aldrich Chemie GmbH (Taufkirchen) által gyártott savanyú kazeint (termék kód: C7970), dinátrium-hidrogén-foszfátot és nátrium-dihidrogén foszfátot, Na-azidot (tartósítószer) és glükono-delta laktont (GDL, termék kód: G2164) alkalmaztam. A GDL hozzáadásával kíméletesen csökken a közeg pH-ja és így a kazeinfehérjék alvadása is fokozatosan következik be (SÁRI 2007). Az enzimkezelést az

Ajinomoto Foods Europe SAS (Hamburg, Németország) által gyártott Activa MP (100 U/g) termékkel végeztem.

2.2.2.2. Nehézvizes joghurt modell oldatok vizsgálata

A joghurt modell oldathoz a Tutti Élelmiszeripari Kft.. (Rábapatona, Magyarország) sovány tejporát (zsír: 0,14%, fehérje: 33%) használtam. A nehésvíz (99,5% D₂O) a KFKI biztosította számomra. A vízben lévő H atomok „elfedik” a neutronok szórását, ezért használtam oldószerként nehésvizet. A gélképződés elindítására a Christian Hansen A/S (Nienburg, Németország) által forgalmazott YF-L811, fagyasztva szárított DVS (Direct Vat Set – közvetlen adsagolásra kifejlesztett) joghurt kultúráját alkalmaztam. Ennek 1 tasakja 50 U (fő kultúrák: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*) aktivitású volt és a beoltás 0,0256 U aktivitású kultúrával történt.

2.2.2.3. Összes zsírtartalom mérése

Az összes zsírtartalom méréséhez petrolétert (Lach-Ner Neratovice, Cseh Köztársaság), 95% - os kénsavas etanolt használtam. Utóbbit magam mértem össze kénsavból (Lach-Ner Neratovice, Cseh Köztársaság) és etanolból (Lach-Ner Neratovice, Cseh Köztársaság). A joghurt-, túró-, és sajtgyártásához felhasznált tej ill tejszínminták zsírtartalmát ultrahang elvén működő Lactoscan Milk Analyzer (Milkotronic Kft., Zagora, Bulgária) berendezéssel határoztam meg.

2.2.2.4. Zsírimentes szárazanyag-tartalom mérése

A joghurt-, túró-, és sajtgyártásához felhasznált tej ill tejszínminták zsírimentes szárazanyag tartalmát ultrahang elvén működő Lactoscan Milk Analyzer (Milkotronic Kft., Zagora, Bulgária) berendezéssel határoztam meg.

2.2.2.5. Összes fehérjetartalom mérése

Az összes fehérjetartalom méréséhez kétféle oldatot kellett elkészíteni, az A oldatot (1,56% CuSO₄, 2,37% Na-p-tartarát) és a B oldatot (2% Na₂CO₃, 0,1N NaOH). A szükséges vegyszereket a Sigma-Aldrich Chemie GmbH (Taufkirchen, Németország) gyártotta. A Folin-Ciocalteu reagenst a G-Biosciences-től (Saint Louis, Amerikai Egyesült Államok) szereztem be. A joghurt-, túró-, és sajtgyártásához felhasznált tej ill tejszínminták fehérje tartalmát ultrahang elvén működő Lactoscan Milk Analyzer (Milkotronic Kft., Zagora, Bulgária) berendezéssel határoztam meg.

2.2.2.6. TBA szám meghatározása

A TBA szám meghatározásához triklór ecetsavat (Carlo Erba Reagents, Milánó, Olaszország) tiobarbitursavat (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen, Németország) és malondialdehidet (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen, Németország) használtam.

2.2.2.7. Savfok (SH°) meghatározása

A savfok meghatározására 0,2% alkoholos fenolftalein oldatot és 0,25 N NaOH oldatot (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen, Németország) használtam.

2.3. A vizsgált termékek előállítása

Kísérleteimben az enzim koncentrációt U/g fehérje (ábrákon rövidítve: U/g feh.) mértékegységben adom meg, mint ahogy sok más kutató is (AQUIRRE, 2006; FARNSWORTH et al. 2006; GUYOT et al. 2011; KIELISZEK és MISIEWICZ. 2014; ROSSA et al. 2011, ZHANG et al. 2009).

2.3.1. Savanyú kazein modell oldat

Az osszcillációs méréseket savanyú kazein oldatok segítségével valósítottam meg. Ehhez 2,7 m/v%-os savanyú kazein oldatot készítettem foszfát pufferben. A pH 6,8 (+/- 0,05) foszfát puffer 0,2 M NaH₂PO₄ és 0,2 M Na₂HPO₄ felhasználásával készült. A savanyú kazein oldatot 0,3 g/l Na-aziddal tartósítottam. Az enzimkezelt oldatok elkészítése során 3 U/g fehérje Activa MP-nek (enzimaktivitás: 100 U/g) megfelelő por formájú enzimmérszítményt oldottam 10 ml desztillált vízben, majd ezt az enzimes oldatot adtam a 2,7 m/v% savanyú kazein oldathoz. Az enzimkezelés 40 °C-on meghatározott ideig (0; 1; 2; 3; 4; 5 óráig) tartott. A következő lépés az enzim inaktiválása volt (15 p., 85 °C), ezután a mintákat jéggel szobahőmérsékletre hűtöttem és a mérésig fagyasztva tároltam. A gélképződéshez minden kazein oldathoz különböző koncentrációban (3,5%; 4%; 4,5%) GDL-t (glükono-delta-laktont) adtam közvetlenül az állománymérés megkezdése előtt.

2.3.2. Joghurt modell oldat

A SANS mérést joghurt modelloldatokon végeztem annak megállapítására, hogy a gélképződés lefolyása, valamint az enzim ezt befolyásoló hatása kimutatható-e a neutronok

szórása alapján. Az ehhez szükséges joghurt modell oldat 10 m/v% sovány tejpor (0,14% zsír, 33% fehérje) oldattal készült. Oldószerként nehézvizet (99,5% D₂O) használtam, hogy növeljem a neutronszóródás vizsgálat során a kontrasztot. A modell oldatokat MLW RH3 mágneses keverővel homogenizáltam (500 rpm, 5 perc, 40 °C). A kontroll oldathoz 0,3% DVS (Direct Vat Set – fagyasztva szárított tejsavbaktérium kultúra, mely közvetlen a tejhez adható beoltáskor) joghurt kultúrát (YF-L811) adtam. Az enzimkezelt oldatok esetén ugyanilyen töménységben alkalmaztam a joghurt kultúrát, de azon kívül még 0,3% Activa YG enzimek készítményt oldottam fel a kultúrával együtt. Az így készült joghurt modell oldatokat 43 °C-on tartottam, amely a joghurt kultúra megfelelő működéséhez (tejsav termeléséhez), azaz a megfelelő fermentációhoz szükséges hőmérséklet. A szol-gél átalakulás nyomonkövetésére a tejsavas fermentáció 0, 15, 30, 60, 100, és 140. percében mintát vettem. A mintavétel után az oldatokat hőkezelttem (70 °C, 10 perc), az alvadási folyamat és az enzim tevékenység megállítása érdekében. A zsírgolyócskákat és a kazein micellákat Mikro 120 centrifugával választottam el 1400 rpm fordulatszámon, szobahőmérsékleten (20 °C) 10 perc alatt. A felülúszóból vettem mintát, melyet kvarc küvettában kisszögű neutron szórás alapján vizsgáltam. Yellow Submarine berendezéssel (detektor távolság: 5,6 m, hullámhossz: 1,13 nm, és a sugárnyaláb mérete: 12 mm).

2.3.3. Sajt modell oldat

A fluorescens méréshez a 2,2% zsírtartalmú tejből készült zsírszegény félkemény sajtokból vettem mintát a gyártás alatt és a 4 hetes érlelés során hetente. A mintavételkor 1,2 g sajtot vettem ki a sajtészta közepéből, majd T25 digitális ultra-turrax berendezéssel homogenizáltam (1000 rpm, 2 perc) 5 ml Milli-Q vízben. A homogenizálás alatt a főzőpohár jeges vízben volt, hogy kiküszöböljem a keletkező hő enzimaktivitást befolyásoló hatását. A homogenizált sajt mintákat ezután centrifugáltam (10 perc, 5 °C, 5000 rpm) és a felülúszót a mérésig lefagyasztva tároltam.

2.3.4. A joghurtgyártás folyamata

Az alapanyagtej 1,5% zsírtartalmú UHT tej (zsír: 1,40%±0,08, zsírmentes szárazanyag: 8,48%±0,05, fehérje: 3,10%±0,02) volt, melyet a székesfehérvári Alföldi Tej Kft. gyártott. Az alkalmazott DVS (DVS: Direct Vat Set, közvetlen adagolású) fagyasztva szárított joghurt kultúrákat a Chr. Hansen A/S gyártja (Hørsholm, Dánia), Magyarországon a mosonmagyaróvári Magyar Tejgazdasági Kísérleti Intézet forgalmazza. A termkleírason nem szerepel összcsíraszám, hanem Unitban (U) adják meg a tejsavbaktériumok aktivitását. 1 Unit az az aktivitás, amely egységnyi A DVS kultúrák tejsavbaktérium összetételét a táblázatban adom

meg. Itt szeretném kihangsúlyozni, hogy az egyes tejsavbaktériumok sejtszáma, a termékbeni aránya ipari titok, amit a németországi kutató-fejlesztő központ szóban is megerősített. Ezt a helyzetet egyébként az 1970-es években történt visszaélések váltották ki. A 8. táblázatban szereplő starter kultúrák a keverék fő tejsavbaktériumai, de ezeken kívül még más kultúrák is vannak a készítményekben.

8. táblázat Az alkalmazott DVS kultúrák tejsavbaktérium összetétele

	FD-DVS YF-L811 Yo-Flex®	FD-DVS YC-180 Yo-Flex®	FD-DVS YC-X11 Yo-Flex®	FD-DVS ABT-1 ProbioTec™
<i>Streptococcus thermophilus</i>	✓	✓	✓	x
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> <i>subsp. bulgaricus</i>	✓	✓	✓	x
<i>Lactobacillus acidophilus</i> LA-5	x	✓	x	x
<i>Bifidobacterium animalis subsp. lactis</i>	x	x	x	✓

Kísérleteimhez a DVS kultúrákból törzskultúrát készítettem, úgy, hogy 1 tasakot (10 g, 50U) 0,5 liter 2,8% UHT tejben 43 °C-on 2 órán át inkubáltam. A kísérleteim során a 43 °C-on temperált törzskultúrából 1,6 v/v%-kal oltottam be az alapanyagtejet, így 0,0256 U tejsavbaktériummal végeztem a fermentációt. Mikrobiológiai mérésekre nem találtam lehetőséget így az összcsiraszám (Bürker-kamrás) és az élősejtszám (metilénkék festéses) meghatározása nem szerepel a disszertációban. A beoltáskori becsült kezdő csiraszám a gyártó által adott információk alapján $3,2 \cdot 10^9$ tke/liter tej (tke = telepképzőegység) volt az összes alkalmazott DVS kultúrájánál. Az enzimkezeléskor 0-2 U/g fehérje Activa YG-t (névleges aktivitás: 85-121 U/g, tényleges aktivitás: 104 U/g) adtam az alapanyagtejhez. Ez az enzimkészítmény az enzimen kívül laktózt, élesztő kivonatot, maltodextrint és sáfrányolajat tartalmazott. A gyártástechnológia műveleti lépései a tanszéki általános gyakorlatot követték (9. táblázat).

9. táblázat Pohárban alvasztott joghurt kísérleti gyártása

	Művelet	Ellenőrzési pont
1.	Törzskultúra készítése (1 tasak/0,5 l tej)	2 óra, 43 °C-on
2.	Alapanyagtej előmelegítése	43 °C –ig
3.	Beoltás (1,6 v/v% törzskultúra)	nincs
4.	Enzimkezelés (0-2 U/g fehérje Activa YG)	nincs
5.	Alvasztás 200 ml-s alvasztó téglékben (43 °C)	pH 4,7-ig
6.	Érlelés (5 °C, hűtőszekrényben)	12-14 óra, pH 4,5

2.3.5. A rögös állományú túró gyártásának folyamata

Az alapanyagtej 1,2% zsírtartalmú pasztörözött tej (zsír: $1,28\% \pm 0,08$, zsírmentes szárazanyag: $9,07\% \pm 0,05$, fehérje: $3,42\% \pm 0,04$) volt, melyet a Sole-Mizo Zrt. szegedi üzemében gyártottak. A túrógyártás során G-700 (CSK Food Enrichment, Leeuwarden, Hollandia) mezofil tejsavbaktérium kultúrát használtam, amelyet e kísérleteket kérő, ipari megbízó bocsátott rendelkezésemre. A CSK gyártó cég, a termékleírason a Chr. Hansen-nel szemben nem U-ban, hanem telepképzőegységben (tke) adja meg az adott sarzs (gyártott tétel) összcsíraszámát, amely esetben $2 \cdot 10^{10}$ tke/ml volt. Az alvasztást egy kettősfalú fűthető 10 literes Armfield FT-20A típusú sajtkádban végeztem. A kísérleteim során kétféle enzimekészítményt próbáltam ki. A 0-0,12 U/g fehérje Activa TG-H-NF (névleges aktivitás: 32-52 U/g, tényleges aktivitás: 37 U/g) az enzimen kívül maltodextrint és ammónium-kloridot tartalmazott. A másik készítmény a Probind CH (névleges aktivitás: 40-65 U/g, tényleges aktivitás: 58 U/g), amelyet kifejezetten tejipari alkalmazásra fejlesztettek ki, így az mTG mellett tejfehérjék és laktóz is van a készítményben. Utóbbit 0,12 U/g fehérje adagolásban alkalmaztam. Mivel a kísérleteket ipari megkeresésre kezdtem el, ezért a gyártástechnológia műveleti lépései a nagyüzemi körülményeket modellezték (10. táblázat).

10. táblázat Rögös állományú túró kísérleti gyártása

	Művelet	Ellenőrzési pont
1.	10 L pasztörözött tej betöltése sajtkádba, keverő (15 lengés/perc) beindítása	nincs
2.	1,2% alapanyagtej felmelegítése	30 °C-ig
3.	Starter kultúra (CSK G-700) hozzáadása	30 °C-on
4.	Az mTG hozzáadása a 0,4-0,12 U/g fehérje (kultúrázás előtt v. egy időben)	30 °C-on
5.	Keverés leállítása	nincs
6.	Alvasztás	30°C-on, kb. 13 óra, 30-38 SH°-ig.
7.	Alvadékaprítás	2-3 cm rögnagyság,
8.	Pihentetés	15 perc
9.	Keverés folytatása	nincs
10.	Utómelegítés	38-45 °C-ig
11.	Alvadék gyűjtése	nincs
12.	Savó lecsöpögtetése	nincs
13.	Hűtés	10 °C alatt
14.	Csomagolás műanyag fóliába	500g

2.3.6. A trappista sajt gyártási folyamata

Az alapanyagtej 1,5% zsírtartalmú pasztörözött tej (zsír: $1,42\% \pm 0,11$, zsírmentes szárazanyag: $9,13\% \pm 0,01$, fehérje: $3,34\% \pm 0,01$) volt, melyet a Fuchs Tej Kft. (Valkó, Magyarország) gyártott. A 2,2%; 2,8%, 3,2%, 3,5%, 5% zsírtartalmú sajttejek zsírtartalmát 30% zsírtartalmú habtejszínnel (zsír: $30,89\% \pm 0,34$, zsírmentes szárazanyag: $4,65\% \pm 0,25$, fehérje: $1,76\% \pm 0,11$) állítottam be, ez utóbbit szintén a Fuchs Tej Kft. gyártotta. Az összes sajttej beltartalmi összetételét a táblázatban mutatom be.

11. táblázat A kísérleti tejek beltartalmi összetétele

	2,2% sajttej	2,8% sajttej	3,2% sajttej	3,5% sajttej	5% sajttej
Zsír	$2,11\% \pm 0,06$	$2,80\% \pm 0,05$	$3,20\% \pm 0,03$	$3,48\% \pm 0,06$	$4,94\% \pm 0,16$
Zsírmentes szárazanyag	$8,74\% \pm 0,46$	$8,75\% \pm 0,04$	$8,16\% \pm 0,09$	$8,47\% \pm 0,06$	$7,90\% \pm 0,45$
Fehérje	$3,23\% \pm 0,17$	$3,21\% \pm 0,01$	$3,01\% \pm 0,04$	$3,10\% \pm 0,02$	$2,94\% \pm 0,17$

A sajtgyártás során MA 4001 félkemény sajtokra kifejlesztett fagyasztva szárított sajt kultúrát (5 U, Danisco, Epernon, France) használtam. A tejhez $0,025$ m/v% CaCl_2 -ot adtam az alvadás elősegítésére. Az oltós alvasztáshoz $0,05$ v/v% borjúgyomor eredetű Présure Simple Brun (Danisco, Melle, Franciaország) oltót használtam. Az alvasztást egy kettősfalú fűthető 10 literes Armfield FT-20A típusú sajt kádban végeztem. A kísérleteim során a korábban már bemutatott Probind CH enzimes készítményt (névleges aktivitás: 40-65 U/g, tényleges aktivitás: 58 U/g) alkalmaztam a gyártó által megadott adagolási javaslat szerint ($0,12$ U/g fehérje) a gyártástechnológia különböző lépéseiben (CaCl_2 -dal együtt, a kultúra után 20 perccel, az oltóval egyszerre, az oltó után 10 perccel). A sajtokat Flexo-vacuum PS650 ötrétegű vákuum tasakba (fólia vastagság: $65 \mu\text{m}$, oxigén áteresztőképesség: $90 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2} 24 \text{ h}^{-1}$, vízgőz áteresztőképesség: $6 \text{ g m}^{-2} 24^{-1}$) csomagoltam. A gyártástechnológia műveleti lépései a tanszéki általános gyakorlatot követték (12. táblázat).

12. táblázat Trappista sajt kísérleti gyártása

	Művelet	Ellenőrzési pont
1.	10 L pasztörözött tej betöltése sajt kádba, keverő (15 lengés/perc) beindítása	nincs
2.	2,2% - 5% alapanyagtej felmelegítése	$30 \text{ }^\circ\text{C}$ -ig
3.	Tej feljavítása $0,025$ m/v% CaCl_2 hozzáadásával (kultúrával egy időben)	$30 \text{ }^\circ\text{C}$ -on
3.	Starter kultúra (MA 4001) hozzáadása	$30 \text{ }^\circ\text{C}$ -on
4.	Az mTG hozzáadása $0,12$ U/g fehérje (kultúrázás előtt vagy egy időben, vagy utána)	$30 \text{ }^\circ\text{C}$ -on

	Művelet	Ellenőrzési pont
5.	0,05 v/v% borjúgyomor oltó adagolása	5 perc
6.	Keverés leállítása	nincs
7.	Alvasztás	30 °C-on, kb. 45 perc
8.	Alvadék aprítás	félborsó rögnagyság
9.	Pihentetés	5 perc
10.	Keverőlapát visszaszerelése	nincs
11.	Utómelegítés	39 °C-ig
12.	Savó lecsöpögtetése	nincs
13.	Préselés (5 kg/sajt kg)	24 óra
14.	Sózás, 20% NaCl oldatban, 14 °C-on	24 óra
15.	Szikkasztás (13-15 °C)	24 óra
16.	Csomagolás (vákuum fólia)	vákuumzárás
17.	Érlelés (13-15 °C, 85% RH)	4 hét

2.3.7. A frankfurti virsli gyártásának folyamata

A húspépet (fehérje: 18,11%±0,23) a következő lépések szerint készítettem el 5,5 literes Robot-Coupe R502 kutterben: fél adag (235 g) darált sertéshúst (80% színhús) először a jégkása felével (180 g) kevertem, aztán adtam hozzá a fűszereket és az adalékanyagokat 4 lépésben, 1 perces keveréssel. Ezt követően a 160 g sertés hátszalonna, majd végül a 0-4 U/g fehérje (előzetesen vízben feloldott) enzimek készítmény került a masszába. Az Activa TG-H-NF (névleges aktivitás: 32-52 U/g, tényleges aktivitás: 42 U/g) készítmény az enzimen kívül csak maltodextrint tartalmazott. A töltéshez 21 mm-es kaliberű cellulóz bélt használtam. A füstölést, a hőkezelést, a zuhanyoztatást, a szárítást CS350 EL típusú főző-füstölő berendezésben végeztem. A gyártástechnológia műveleti lépései a tanszéki általános gyakorlatnak megfelelően állítottam össze (13. táblázat).

13. táblázat Frankfurti virsli kísérleti gyártása

	Művelet	Ellenőrzési pont
1.	Húspép készítése 5,5 literes kutterben	max. 10-12 °C
1.1.	Fél adag darált sertéshús (80% színhús) keverése a jégkása felével	1 perc
1.2.	0,1-0,7% Na-szoluprát	1 perc
1.3.	1,4-1,8% pácsó/nitrites sókeverék	1 perc
1.4.	Maradék darált sertéshús és jég hozzáadása	1 perc
1.5.	Fűszerek hozzáadása: 1,25% örölt fűszerpaprika, 1,2% örölt fehérbors	1 perc
1.6.	Előzetesen 5 mm-re aprított sertés hátszalonna hozzáadása	1 perc
1.7.	Az mTG hozzáadása 0 - 0,4 U/g fehérje (vizes oldatban)	1 perc
2.	Bélbe töltés	max. 10-12 °C

	Művelet	Ellenőrzési pont
3.	Füstölés, főzés, zuhanyoztatás és szárítás főző-füstölő berendezésben	
3.1.	Felület szárítása 60 °C-on	20 perc
3.2.	Füstölés (bükfa forgáccsal)	20 perc
3.3.	Főzés	72 °C-ig (maghőmérséklet)
3.4.	Hőntartás 72 °C	10 perc
3.5.	Zuhanyoztatás	10 °C-ig (maghőmérséklet)
3.6.	Felület szárítása	egyenletesen száraz felület
4.	Csomagolás (sous-vide PA/PE tasak)	vákuumzárás
5.	Tárolás	5 °C

Ezt a gyártástechnológiát a tanszéki általános gyakorlatban alkalmazott műveleti lépések megismerését követően dolgoztam ki (FRIEDRICH és VÉN, 2011)

2.4. A vizsgált termékek enzimaktivitásának meghatározása

2.4.1. Hidroxamát módszer

Az enzimaktivitás közvetlen mérésére a szakirodalomban általánosan elfogadott és alkalmazott kolorimetrikus hidroxamát módszert (GROSSOVITZ et al. 1950; FOLK és COLE 1966) használtam. A mérés a hidroxil-amin szintetikus CBZ-glutamin-glicinbe (karbobenzoxi-L-glutamin-glicin) való enzimés beépülésén alapul. Ennek során egy kétértékű ligand, a glutamil-hidroxámsav keletkezik, amely az Fe^{3+} ionokat megkötve vörös színű komplexet képez. Az enzim aktivitását a színreakció alapján 525 nm hullámhosszon mért abszorbancia érték mutatja.

Az enzimaktivitás: 1 U (unit) az, az enzim-mennyiség, amely CBZ-glutamin-glicin és hidroxil-amin reakciója során percenként 1,0 μ mol hidroxamát képződését katalizálja pH = 6,0 kémhatás mellett 37 °C-on. A mérés során szükséges vegyszerek: A reagens (0,1 M hidroxilamin 0,2 M Tris-acetát pufferben /pH: 6,00/), B reagens (5,1 mg CBZ-Gln-Gly/ 0,5 ml A reagens), C reagens (12% HCl, 5% $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0,1 M HCl oldatban, 12% triklórecetsav). A fenti módszert a Darmstadti Főiskola Kémia és Biokémia Tanszéke dolgozta ki. A leolvasott abszorbancia értéket 4,47 faktorról (PASTERNAK et al. 1997) szorozva kaptam meg az enzimaktivitás értékeket U/ml egységben.

2.4.2. Fluorescens módszer

A mérés elve, hogy a fluorescens festékanyagként használt danzilált dipeptid ZQG-DNS az aktív mTG enzimmel specifikusan kötődik és ennek következtében az enzimaktivitás mértékével arányosan emelkedik a fluorescens jelintenzitás (PASTERNAK et al. 1997). A relatív fluorescens intenzitást (rfu, relative fluorescence unit) 5 percen át folyamatosan mértem abszorbancia alapján 532 nm hullámhosszon (gerjesztés: 340 nm).

A sajtok maradék enzimaktivitás változásának méréséhez a gyártás alatt és a 4 hetes érlelés során hetente vettem mintát. A minta előkészítés lépéseit a 2.3.3. fejezetben már korábban ismertettem. A dipeptid esszéhez 4 mM danzil csoporttal ellátott dipeptid ZQG-DNS-t használtam törzsoldatként. A fluorescens mérés előtt közvetlenül 50 µL felülúszót adtam 50 µL Milli-Q vízhez és 100 µL mesteroldathoz (50 µL 0.8 mM dipeptid, 10 µL 1 M citrát puffer pH 7,0 és 30 µL Milli-Q víz). A kalibráláshoz enzimkezelt sajtok felülúszóját használtam, amelyekhez 0,0 – 0,2 U/ml tiszta mTG oldatot adtam a végtérfogatra számolva (pl.: 0,05 U/ml = 50 µL enzimkezelt felülúszó + 50 µL 0,2 U/ml tiszta mTG oldat + 100 µL mesteroldat) annak érdekében, hogy megvizsgáljam, mennyire befolyásolja a felülúszó fehérje összetétele az enzimaktivitás kimutathatóságát.

2.5. A vizsgált termékek fizikai és kémiai vizsgálatai

2.5.1. Összes szárazanyag tartalom meghatározása

A szárazanyag tartalom meghatározásakor a mintákat a gyors nedvességmeghatározó készülék 105 °C-on tömegállandóságig szárította. A joghurt szárazanyagtartalmát a savó lecsöpögtetése után homogenizált mintából mértem.

2.5.2. Összes zsírtartalom meghatározása

A sajt minták zsírtartalmát Lindner gyors módszere szerint állapítottam meg (SEIDEL et al. 1993). A módszer lényege, hogy kénsavas etanollal roncsolják a mintát, majd petroléteres feltárást végeznek, végül az elpárologtatás után megmaradt zsír tömege alapján határozzák meg a minta zsírtartalmát.

2.5.3. Összes fehérjetartalom meghatározása

A trappista sajt fehérjetartalmának meghatározása a Kjehdal módszerrel az MSZ EN ISO 8968-2:2002 alapján történt a Food Analytica Kft. gyulai akkreditált laboratóriumában (NAT-1-1582/2013). A sajtok savójának összes fehérje tartalmát a Lowry módszer (LOWRY 1951) szerint mértem.

2.5.4. A TBA-szám meghatározása frankfurti virsliből

A lipid-peroxidáció mértének egyik információs faktora a TBA-szám (tiobarbitursav), mely az irodalomban ismert módszer (YETIM et al. 2006). A mérés során a húspanban lévő MDA (malondialdehid) a TBA-val (tiobarbitursav) reagálva egy rózsaszínű komplexet képez, mely 532 nm-n spektrofotometriásan mérhető. A kalibrációs egyenes felvételéhez tetra-etoxi-propánt használtam. A TBA-értéket az abszorbancia segítségével a következő empirikus összefüggésből számítottam: $MDA \text{ (mg/kg)} = (\text{Abs}-0,0175)/0,0122$. A TBA-számot a virsli gyártását követő 4. napon mértem.

2.5.5. Savóeresztés meghatározása

A savóeresztést (szinerézist) gravitációs elven határoztam meg natúr pohárban alvasztott joghurt esetén. A minta ismert tömegét 1 óráig Büchner tölcséren át (szűrőpapír nélkül) szobahőmérsékleten csepegni hagytam, majd meghatároztam a gyűjtött savó mennyiségét. Az eredményt savó ml/100g joghurt/óra mértékegységben adtam meg.

2.5.6. Léeresztő képesség (WHC) meghatározása

A léeresztő képesség (WHC, Water Holding Capacity) mérését Grau-Hamm módszere szerint (GRAU et al. 1952) végeztem a frankfurti virsliken. A mérés elve, hogy adott idő (5 perc) alatt adott terhelés (500 g) hatására a mintából távozó nedvesség mekkora foltot hagy a az ismert tömegű szűrőpapíron. A léeresztő képességet ennek megfelelően a folt nagyság alapján határozzuk meg.

2.5.7. A savfok (SH°) meghatározása

A kísérleti túró gyártása során az iparilag elterjedt Soxhlet–Henkel-féle módszerrel mértem az alvadás végéig a savfok változását. A mérési eredményeimet nem közlöm, de a 8. táblázatban

jelzem, hogy az alvadék felvágását csak akkor kezdtem el, amikor az alvadék savfokának 30-38 °SH közötti értéket ért el. Az alvadék ekkor „ujj-próbára” vagy késszúrásra májasan törik és enyhe savó kiválás is megfigyelhető.

2.6. A vizsgált termékek műszeres analitikai vizsgálatai

2.6.1. A pH-érték meghatározása

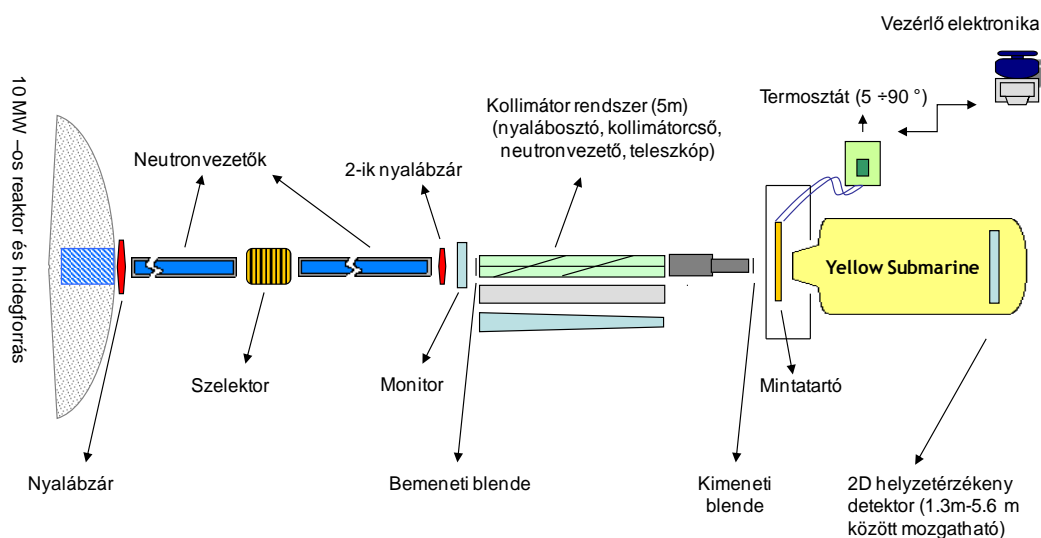
A pH-érték meghatározásához Testo 206 (Testo AG, Németország) típusú hordozható kézi pH mérőt használtam. A pH mérése a gyártásközbeni és utáni minőség ellenőrzés miatt minden vizsgált termékénél megtörtént, mindazonáltal a mért értékeket csak két kiemelt esetben ismertetem: a gélképződés nyomonkövetésekor (modell oldatok és joghurt esetén) valamint a natúr pohárban alvasztott joghurt tárolási kísérleteikor.

2.6.2. Színmérés

A színmérés során a készülék a minta felületéről visszavert fény jellemzőit méri, az értékeket a CIELab színingertérben adja meg (WYSZECKI és STILES 2000), amelynek a koordinátái az L* (világossági tényező), az a* (piros-zöld színezet) és a b* (sárga-kék színezet). A frankfurti virsli esetén a belső (vágási) felület színét hosszant keresztbe vágott mintán mértem.

2.6.3. Szol – gél képződés nyomon követése neutronspektroszkópiával

A berendezés fő része a 10 MW teljesítménnyel működő kutatóreaktor, amely a neutron nyalábot biztosítja. A kisszögű neutronsórás (SANS: Small Angle Neutron Scattering) méréshez szükség van egy úgynevezett sebességszelektorra, amely meghatározza a mintára eső neutronnyaláb hullámhosszát, neutronvezető rendszerre, kollimációs rendszerre, mintatartóra és végül egy neutrontektorra (11. ábra).



11. ábra Yellow Submarine kisszögű szórásvizsgáló berendezés elvi vázlata (LEN et al. 2014)

A SANS mérés során nagy hullámhosszú, kis energiájú neutronokat állítanak elő, amelyek roncsolásmentesen haladnak át a vizsgált mintán és az anyagminőségtől függően kismértékben elnyelődnek vagy szóródnak. A szóródás 5 foknál kisebb szögekben történik, amely az 5 nm – 500 nm tartományban szolgáltat információt a vizsgált mintáról. A minta szerkezetétől függő szórás matematikai kiértékelés segítségével elemezhető. A hidrogén és deutérium magjának egymástól nagyon különböző neutronnal szembeni viselkedése lehetőséget ad az úgynevezett kontrasztvariációra, amely a vizes közegben levő anyagok széles skálájának vizsgálatát teszi lehetővé (LEN et al. 2014).

A SANS szórási intenzitást (I) a szórásvektor (Q) függvényében ábrázoltam, melyet a bejövő neutronok hullámhossza (λ) és a szórási szög (θ) határozott meg, így értéke a $Q=(4\pi/\lambda)*\sin(\theta/2)$ egyenletről adódott. A helyzetérzékelő detektor által rögzített neutron számot tehát a radiális átlagolás után a szórásvektor függvényében ábrázoltam, majd elemeztem a modell illesztés alapján. Ezt követően a standardhoz normalizáltam a mintát (könnyű vízzel), figyelembe véve a minta tulajdonságait (térfogat, transzmisszió) és a berendezés jellemzőit (hullámhossz félértékszélesség, detektor hatékonyság, háttér). Ezt a normalizálást minden mintánál elvégeztem. Vizsgálataim során a detektor távolság: 5,6 m, a hullámhossz: 1,13 nm és a sugárnyaláb átmérője: 12 mm volt. A szóródott neutronokat 64 x 64 pixel (1 cm × 1 cm pixel méret) 2 dimenziós helyzetérzékelő detektor (Grenoble, France) rögzítette, amelyet bór-trifluorid (BF_3) gázzal töltöttek fel (DARNAY et al. 2015).

A joghurt mintákat 5 mm vékony kvarcküvetába tettem. Ezeket a mintatartókat kifejezetten neutronmérésekre alakították ki, mert alacsony a neutron elnyelésük és szórásuk. A szórási vektor tartományt 0.06 1/nm - 0.3 1/nm között határoztam meg. Az összegyűjtött adatokra a

Beaucage modellt illesztettem (BEAUCAGE 1995, 1996), amely alkalmas többszintű szerkezeti egységeket tartalmazó összetett rendszerek leírására (HUPPERTZ et al. 2008).

$$I(Q) \cong G \exp\left(-Q^2 \frac{R^2}{3}\right) + B \left\{ \frac{[\operatorname{erf}\left(\frac{QR}{\sqrt{6}}\right)]^a}{Q} \right\}^P \quad (\text{SHIN et al. 2010})$$

ahol R, a tanulmányozott szerkezetre jellemző méret, G és B konstans tényezők, és P az exponenciális kitevő, amely a szóró felületet jellemzi. A Wavemetrics Igor Pro szoftverrel (KLINE 2006) végzett görbeillesztés után megkaptam a kolloid részecskékre jellemző méretet. Ez a méret nem volt egyenértékű a girációs sugárral a meghatározott elérhető szórásvektor (Q) tartomány miatt, de korrelláltam a szórást okozó savófehérje aggregátumok méretével. Eredményeim a 3.1.2. fejezetben olvashatóak.

2.6.4. Állományvizsgálati módszerek

2.6.4.1. Osszcillációs viszkoziméter

A savanyú kazein modell oldat állománymérését ARES RFS3 típusú reométerrel végeztem (12. ábra).



12. ábra Osszcillációs típusú ARES RFS3 reométer (saját felvétel)

A mérés elve, hogy a mintát két különböző sebességgel mozgatott mérő elem közé helyezik, annak érdekében, hogy egy meghatározott deformációt hozzanak létre az anyagban. A mérés során a mérő test tengelyét adott frekvenciával és amplitúdóval, sinusfüggvény szerint oszcillálva mozgatják (JUHÁSZ et al. 2011). A mérés körülményei a Drezdai Műszaki Egyetem

által kidolgozott módszer szerint a következők voltak: frekvencia: 1,0, rad/s, γ : 0,003, hőmérséklet: 20 °C, 30 °C, 40 °C, és az adatokat percenként rögzítette a készülékhez tartozó TA Orchestra szoftver. A lefagyasztott mintákat az állományérés előtt szobahőmérsékleten felengedtettem és 10 percig az adott mérési hőmérsékleten temperáltam. Az oldatokhoz mérés előtt közvetlenül 3,5%; 4% vagy 4,5% GDL-t adtam, így a gélképződés legkésőbb 50 perc alatt lezajlott, ami a mérés végét is jelentette. A kapott osszcilációs reogramokból leolvasható volt, hogy az enzimkezelés hogyan befolyásolta a gélképződési folyamatot (3.1.1. fejezet).

2.6.4.2. Látszólagos viszkozitás meghatározása

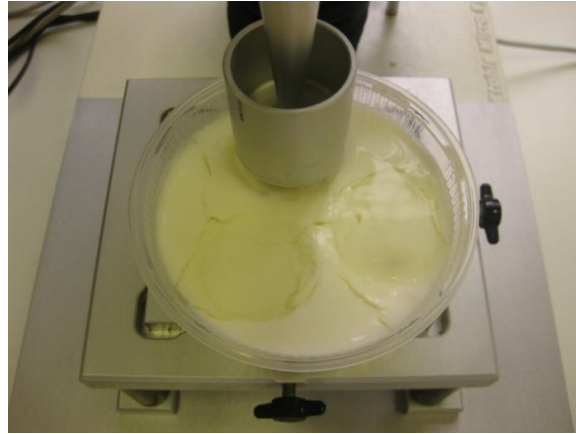
A látszólagos viszkozitás mérését Rheomat 115 típusú rotációs viszkoziméterrel végeztem. A mérés elve, hogy a külső hengerben lévő meghatározott mennyiségű mintába egy belső henger merül, amely a forgatónyomaték emelésével gyorsuló forgó mozgást végez. A henger forgatásához szükséges erő közvetlenül megadja a „folyadékrétegek” egymás melletti elmozdításához szükséges nyíróerőt, amelyből az anyag viszkozitása meghatározható (FRIEDRICH et al. 2011). A joghurtok szol-gél átalakulásának nyomon követésekor a 20 percenként vett minták viszkozitását az emberi rágásnak megfelelő 57,2 1/s sebesség-gradiens (KONCZ 1992) mértem. A látszólagos viszkozitás (η , Pas) a nyírófeszültség (τ) és sebesség gradiens (D, 1/s) hányadosából számítható. A látszólagos viszkozitás mérést a neutronos modell oldat (3.1.2. fejezet) és a natúr pohárban alvasztott joghurt (3.2.1. fejezet) gélképződésének vizsgálatánál alkalmaztam.

2.6.4.3. Állománymérések SMS állománymérő berendezéssel

Az állománymérésekhez az SMS TA. XT Plus (Stable Micro Systems, Godalming, Egyesült Királyság) állománymérő berendezést használtam, 500N erőmérő cellával. Az adatok kiértékeléséhez a berendezéshez tartozó Texture Exponent 32 szoftvert használtam.

2.6.4.3.1. Gélszilárdság meghatározása

A gélszilárdságon a kész joghurt állománymérésekor mért maximális erő (F, N) nagyságát értem. Az állományvizsgálathoz 35 mm átmérőjű alumínium hengeres feltétet használtam. A pohárban alvasztott kész joghurtokat mérés előtt az alvasztó tégelyben 10 °C-on temperáltam, majd a mérőfejet 10 mm mélyen, 0,50 mm/sec sebességgel engedtem a mintába (13. ábra). Ezt a mérési beállítást a Hűtő- és Állatitermék Technológián dolgozták ki és alkalmazták joghurt esetén (CSAPÓ 2008).



13. ábra Az SMS TA.XT Plus állománymérő készülék, joghurt gélszilárdság mérése
(saját felvétel)

A gélszilárdság mérést a natúr pohárban alvasztott joghurt (3.2.1. fejezet) gélképződésének vizsgálatánál alkalmaztam.

2.6.4.3.2. Keménység és tapadás meghatározása húspépnél

A keménység és a tapadás meghatározásához 90 °-os nyílásszögű kúpos mérőfejet használtam. A virslihez készült húspép mintát előzetesen 30 percig 10 °C-on temperáltam a készülékhez tartozó mintatartó edényben. A mérés során 2 mm/s sebességgel nyomódott a mérőfej a mintába, a mérés végén a mérőfej és a mintatartó edény között 2 mm hézag maradt (14. ábra). Ezt a mérési beállítást krémszerű termékek állományvizsgálatára a Hűtő- és Állatiermék Technológiai Tanszéken fejlesztették ki és alkalmazták vajkrémek esetén (SZEKRÉNYES 2011).

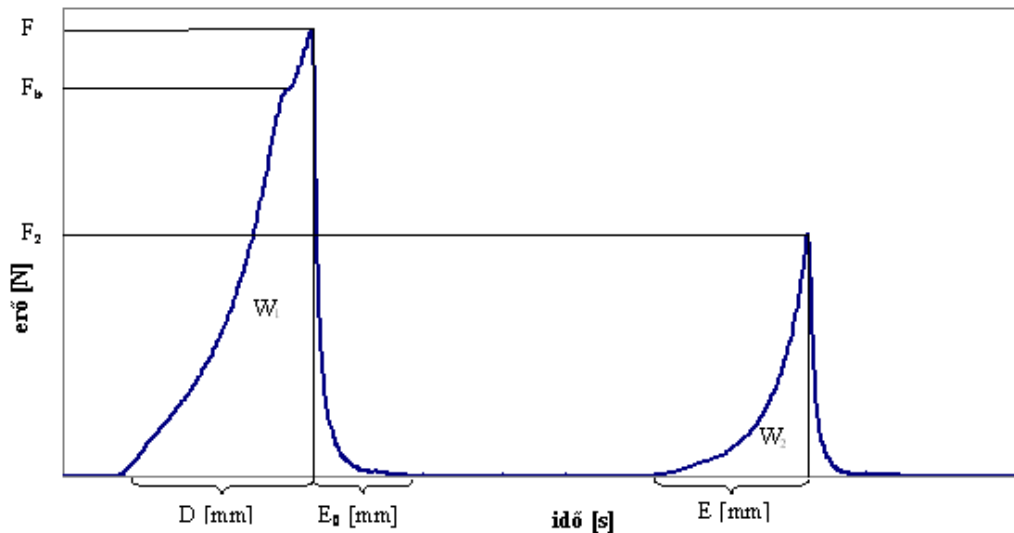


14. ábra Az SMS TA.XT Plus állománymérő készülék kúpos mérőfejjel
(saját felvétel)

A kísérleti húspépek keménységét és tapadás a fentiek szerint mértem (3.4.1.1. fejezet, 3.4.2.1. fejezet, 3.4.3.1. fejezet).

2.6.4.3.3. TPA módszer

A állományprofil analízis (TPA, Texture Profile Analysis) után a kapott erő-deformáció görbékéből (15. ábra) a keménység (F, N), tapadás (F₂, N), közvetlenül leolvasható.



15. ábra Jellegzetes állományprofil görbe TPA módszer esetén (KONCZ et al. 2005)

A minta rugalmassága, kohezivitása, rághatósága a következő számítási módon határozható meg. (KONCZ et al. 2005):

W_1, W_2 (mJ): az adott deformáció eléréséhez szükséges munka az első illetve második összenyomás során, a görbe alatti terület az első illetve a második összenyomásig

K (-): kohézió, a mintát összetartó belső kötések ereje, $K = W_2/W_1$

E (mm): a mintát deformáló erő megszüntetése után visszanyert magassága, rugalmasság

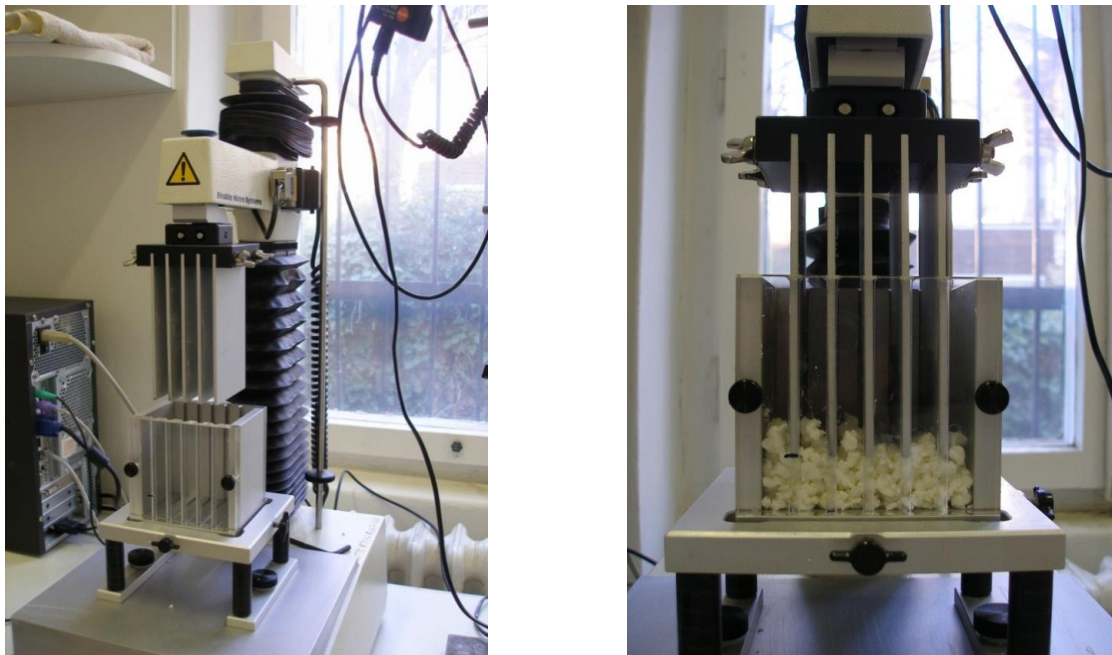
R (J):l rághatóság, a szilárd élelmiszer teljes szétrágásához szükséges energia, mértéke a keménység, kohezivitás és rugalmasság elsődleges paramétereikhez kapcsolódik,

$$R = F_1 * K * E$$

A TPA módszerhez az állománymérő 35 mm átmérőjű hengeres feltétjét használtam. A sajt és virsli mintákból szabályos hengereket készítettem (magasság és átmérő 12 mm) és a mérés előtt 12 °C-on temperáltam. A mérés során a mintákat 2 mm/s sebességgel kétszer összenyomtam. Az összenyomás mértéke 70% volt. Ezt a mérési beállítást a Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszéken dolgozták ki és sikeresen alkalmazták érlelt marhahúsból készült steak állományának objektív minősítésére (VÉN 2010). A kísérleti trappista sajtok keménységét, rugalmasságát és rághatóságát a 3.3.1.-3.3.3. fejezetek, míg a frankfurti virslik keménységét a 3.4.1.3., 3.4.2.3., 3.4.3.3. fejezetben részletezem.

2.6.4.3.4. Mérés a Kramer-féle nyírócellával

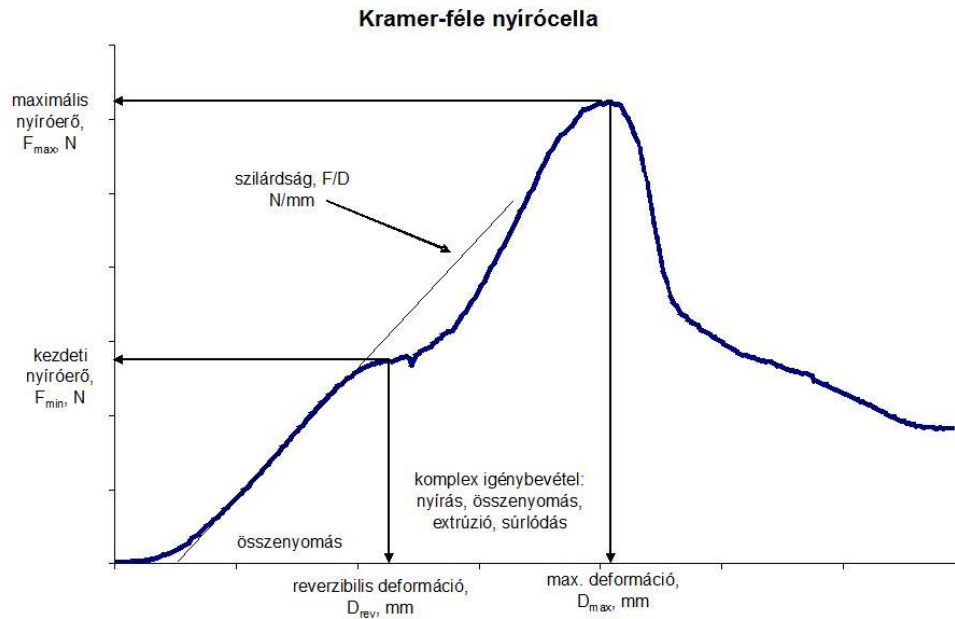
A rögös étkezési túró állományjellemzőinek meghatározásához Kramer-féle nyírócellát használtam (16. ábra).



16. ábra Az SMS TA.XT Plus állománymérő készülék, Kramer-féle nyírócellával

(saját felvétel)

A Kramer-féle nyírócellával több igénybevétel (nyírás, nyomás, rágás) hatása egyszerre vizsgálható a mintán, ahogy az alábbi reogram (17. ábra) is mutatja.



17. ábra A Kramer-féle nyírócella által felvett diagramról meghatározható jellemzők
(KONCZ et al. 2005)

Az állományvizsgálat megkezdéséig a kísérleti tőrőmintákat 10 °C-on tároltam. Méréskor 80 g-t mértem a nyíró cellába és a mérés 0,049N ellenállás esetén kezdődött. Az állománymérések eredményeit a 3.2.2. fejezetben mutatom be.

2.7. Érzékszervi minősítési módszerek

Munkám során több különböző termék érzékszervi vizsgálatát végeztem el különböző módszereket alkalmazva, amelyek kiválasztásánál minden esetben törekedtem a kutatási kérdéseim megválaszolására leginkább alkalmas módszert megtalálni. Az érzékszervi minősítési vizsgálatok tervezésekor és végrehajtásakor a jó érzékszervi gyakorlat (Good Sensory Practice, GSP) elemeit betartva jártam el, amelyek a következők voltak: a mintaelőkészítés során azonos eszközöket használtam (kanál, kés, kóstoltató pohár/tál stb.) (GERE 2016), a bírálatok között semleges ízű vizet és kiflit használtak a bírálók íz semlegesítésére (SIPOS et al. 2012). A bírálatra kerülő érzékszervi mintákat háromjegyű véletlenszámokkal kódoltam és osztottam ki a bírálóknak (ISO 6658:2005). Az érzékszervi vizsgálatok lebonyolítása során igyekeztem betartani az ISO 8589:2007 szabvány ajánlásait a bírálati helysége vonatkozásán. Törekedtem arra, hogy az érzékszervi vizsgálatokat minden esetben ugyanazok, a terméket ismerő, képzett érzékszervi bírálók végezzék, így megfelelően az ISO 8586:2012 szabványban foglaltaknak.

2.7.1. MSZ pontozásos bíráló

A rögös túró és a trappista sajt érzékszervi bírálata 100 pontos súlyzófaktoros módszerrel történt. A bírálati szempontrendszert az MSZ 12280-87 és a Magyar Élelmiszerkönyv trappista sajtra is vonatkozó 2-104 számú irányelve alapján Koncz Kálmánné dr. dolgozta ki. Ezt a pontozásos bírálatot a szakemberek kézműves sajtok érzékszervi megítélésére már évek óta alkalmazzák pl. a Sajtmustrán és az Újbor- és Sajt fesztiválon. Esetemben legalább 10 képzett bíráló bevonásával folytak a bírálatok. A sajtok érzékszervi jellemzőit súlyozottan pontozták: külső (15 pont), belső szín (15 pont), illat (15 pont), íz (25 pont), állomány (15 pont), lyukazottság (15 pont). Értékeléskor a kapott pontszámokat a maximálisan adható érték százalékában adtam meg. Az érzékszervi bírálati lapok az M2. mellékletben találhatóak.

2.7.2. Állományprofil analízis

A profil analízis az egyik legátfogóbb és megbízhatóbb érzékszervi bírálati módszer. A legfőbb előnye, hogy úgy lehet összehasonlítani mintákat, hogy az előzetesen meghatározott terméktulajdonságok pontosan leírják a vizsgálandó érzékszervi tulajdonságokat (LOSÓ et al. 2012). A pohárban alvasztott joghurtok esetén kezdetben állományprofil analízist végeztem annak érdekében, hogy az enzim koncentráció és a joghurt minőségét meghatározó májas állomány, kanalizhatóság, keverés utáni simaság, savó kiválás (mértéke és színe) között közvetlen összefüggést találhassak (3.2.1.1. fejezet). Az analízis menete és az érzékszervi bírálati lap az M2. mellékletben láthatóak.

2.7.3. Különbségvizsgálat

A joghurt és virsli mintákat a gyártást követő napon 10 tagú képzett bíráló panel értékelte különbségvizsgálati módszerrel. A módszer alkalmas annak megállapítására, hogy két minta között van-e különbség a vizsgált érzékszervi jellemzőben (SIPOS 2009, BAGDI et al. 2016). Az érzékszervi bírálatok alatt a bírálók egy ismeretlen vizsgálati mintát 0-100-as skálán hasonlítottak a skála közepén (50) rögzített referencia mintához. A referencia mindig a kontroll volt, így az eredményeim az attól való eltérést, azaz az mTG hatását mutatják be az egyes érzékszervi tulajdonságokban. Az állományjellemzők vizsgálata során a joghurt mintáknál vizsgálták a májas állományt, a kanalizhatóságot, a savó kiválást és a keverés utáni csomósságot (3.2.1.2.-3.2.1.3. fejezet, M2. melléklet). Frankfurter virsli esetén a bírálók többek között a metszészlap homogenitását, a légzárványok mennyiségét és a metszészlap rugalmasságát értékelték (3.4.1.6. fejezet, 3.4.2.7. fejezet, 3.4.3.6. fejezet, M2. melléklet).

2.8. Statisztikai értékelés

A vizsgált termékek objektív és szubjektív értékei legalább 3 gyártás átlagából származnak. A vizsgálati módszerek megbízhatóságát a párhuzamos mérésekkel ellenőriztem. A színmérés, keménység mérésekor az eredmények 10 párhuzamos mérés átlagai. Az összes szárazanyag tartalom, a zsírtartalom, a fehérjetartalom, a léeresztő képesség, a TBA-szám, az enzimaktivitás, a gélszilárdság, a húspép keménysége és tapadása, az osszcillációs-, valamint a rotációs állománymérés ismertett eredményei legalább 3 párhuzamos mérés átlagai.

Amennyiben az enzimkezelésen kívül más vizsgálati szempontot is változtattam (pl.: sajtgyártás során az enzimadagolás időzítése, a kiinduló tej zsírtartalma, a frankfurti virsli gyártása során alkalmazott pácsó ill. foszfát adagolás) akkor az egytényezős ANOVA helyett kéttényezős variancia analízist végeztem 95% megbízhatósági szinten, amelynek eredményét az M3. mellékletben ismertetem.

Az eredmények értékeléséhez XL-Stat ver. 2016.5 statisztikai szoftvert alkalmaztam.

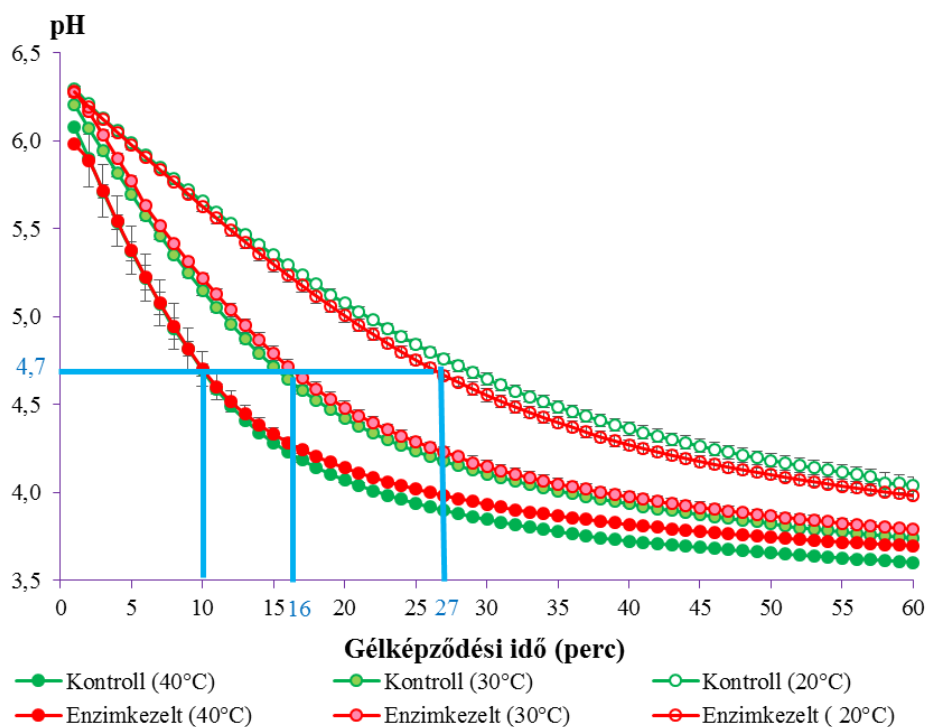
3. EREDMÉNYEK

3.1. Gélképződés nyomon követése modell oldatokban

A modell oldatos kísérletek célja annak megállapítása volt, hogy miként követhető nyomon az mTG állománymódosító hatása egyszubsztrátumú (savanyú kazein, sovány tejpor) rendszerekben. E kísérletek eredményei alapozták meg a későbbi termék tesztek vizsgálati szempontjait.

3.1.1. Oszcillációs állománymérés savanyú kazein modell oldat esetén

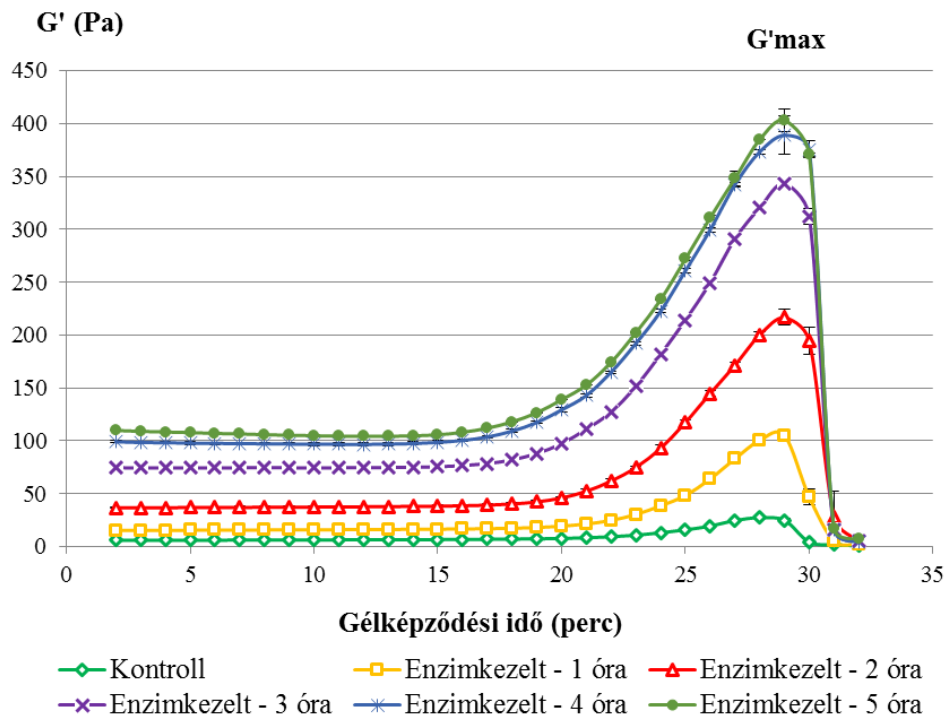
Az oszcillációs reológiai mérések (2.2.2.1. fejezet, 2.6.4.1. fejezet) során az volt a célom, hogy megállapítsam az 1-5 órán át enzimekelt modell oldatok gélképződési tulajdonságait. A drezdai kísérleteim során az általános gyakorlatot követve 4% glükono-delta-laktont (röviden: GDL) használtam a gélképződés nyomon követésére, mert a modell oldatok esetén stabilitása, és gyors gélképző tulajdonsága miatt szinte kizárólag csak ezt alkalmazzák Németországban. A gélképződés folyamatának sebességét először a pH csökkenés példáján mutatja be a 18. ábra. A pH 4,7 érték kiemelten szerepel, mert ez egy kritikus pont, ugyanis az utósavanyodás elkerülése végett az általános ipari gyakorlatban ennek elérésekor kerül a joghurt a 40-45 °C-os érlelő helyséből a 6-8 °C hőmérsékletű hűtőraktárba.



18. ábra A kontroll és az enzimekelt savanyú kazein modell oldat pH-értékének változása a gélképződés alatt

Megállapítható, hogy a hőmérséklet emelkedés hatására a kazein oldatok hamarabb savanyodtak, de a pH csökkenését az enzimkezelés szignifikánsan nem befolyásolta. A modell kísérlet eredményei alapján a pH 4,7 eléréséhez 20 °C-on 27 percre volt szükség, 30 °C-on 16 percre, de 40 °C-on erre 10 perc is elegendő volt.

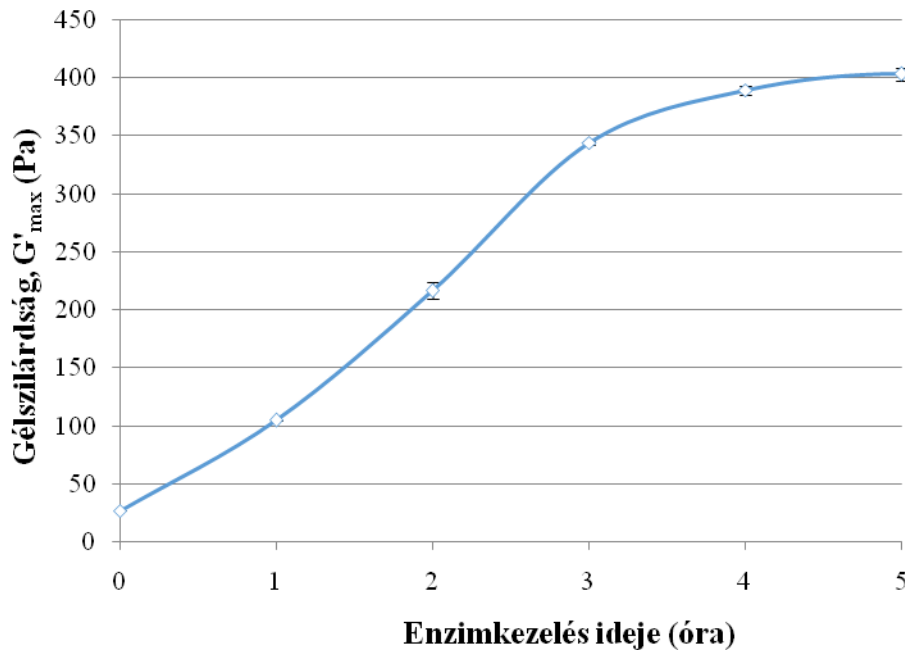
A 19. ábrán az oszcillációs mérés során tapasztalt gélszilárdság változást mutatom be a tárolási modulusz (G') alapján, amelyet percenként mértem adott oszcillációs tényezők mellett ($\omega = 1 \text{ rad/s}$, $\gamma = 0,003$). Általánosan elmondható, hogy minél nagyobb a G' értéke annál szilárdabb az alvadék (SÁRI 2007), ezért gélszilárdságként utalok rá a következőkben. A gélképzés 40 °C-on 4% GDL-el történt, mert ez a párosítás van legközelebb az ipari gyakorlathoz, ugyanis ezt a hőmérsékletet alkalmazzák a legnépszerűbb fermentált tejtermékünk, a pohárban alvasztott illetve habart joghurt készítése esetén.



19. ábra A kontroll és az enzimkezelt (1-5 óra) savanyú kazein modell oldat gélszilárdságának (G') változása a gélképződés alatt

A tudományos kutatásban és az ipari gyakorlatban 1-2 órás enzimekezelés alkalmazása terjedt el (BÖNISCH 2007). Eredményeim alapján azonban megállapítható, hogy a kezelési időtől függetlenül az mTG 95%-os megbízhatósági szinten szignifikánsan növeli a gélszilárdságot a GDL adagolása esetén. A görbék lefutása alapján elmondható, hogy 1-4 óráig az enzimekezelés hatással volt a gélképződés sebességére és az elért maximális gélszilárdságra. Az 5 óra enzimekezelés már nem okoz szignifikáns különbséget a 4 órához képest. A mérés végére a kialakult alvadékokat az oszcilláció törte össze és ez okozta a G' értékek leesését.

A 20. ábrán a maximális tárolási modulusz (G'_{\max}) azaz az elért legnagyobb gélszilárdság érték látható az 1-5 óráig enzimekelt modell oldatok esetében. A korábbi kutatásokban 3 és 8 óra közti enzimekeltetés hatását nem vizsgálták, de azt feltételezték, hogy 3 óra enzimekeltést követően a G'_{\max} értéke visszaesik (JAROS et al. 2014)



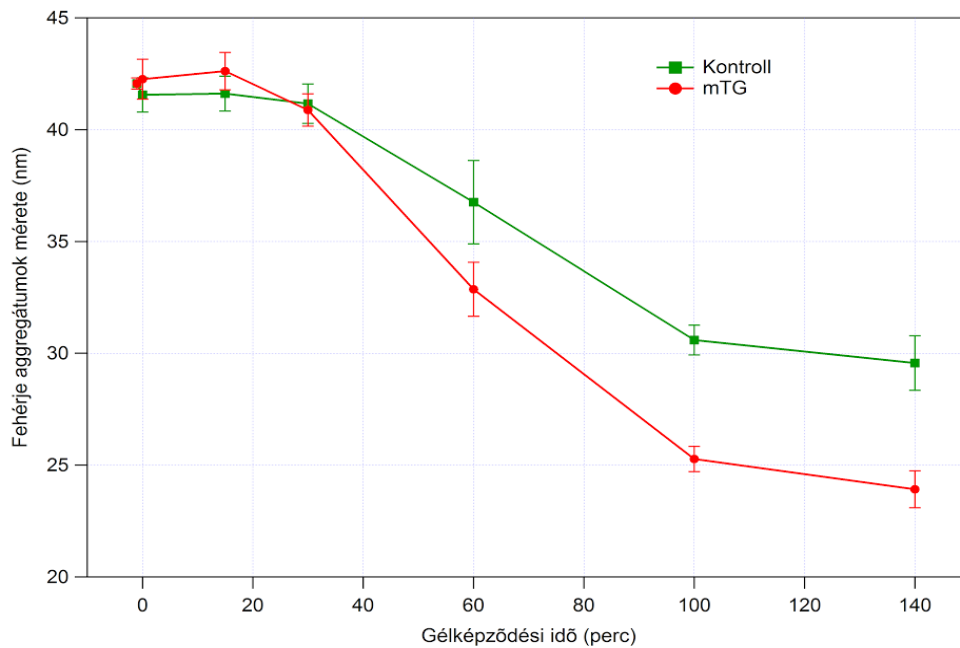
20. ábra A kontroll és az enzimekelt savanyú kazein modell oldatok legnagyobb gélszilárdságának (G'_{\max}) változása az enzimekeltelési idő függvényében

Ezzel szemben azt tapasztaltam, hogy a gélszilárdság 3 óra enzimekeltésig egyenes arányban emelkedik az enzimekeltetés hatására, majd ezt követően egy telítési folyamatot mutat. Megállapítható, hogy a gélszilárdság 5 óra enzimekeltetés után érte el a legmagasabb értéket.

Az itt közölt eredményekből a drezdai munkatársakkal közösen egy angol nyelvű teljes cikket jelentettünk meg az éves norvég reológiai konferencia kiadványában (RAAK et al. 2014).

3.1.2. Neutronszerzés vizsgálat nehézvízes joghurt modell oldatban

A kisszögű neutronszerzés vizsgálat (2.2.2.2. fejezet, 2.6.3. fejezet) lehetőséget adott arra, hogy a joghurt starter kultúra miatt hosszabb szol-gél átalakulását részecskeszinten, beavatkozás nélkül is nyomon követhessem. A kontroll és enzimekelt nehézvízes modelloldatok gélképződésének vizsgálatokor a centrifugált minták neutronszerzésát vizsgáltam, 20 percenkénti mintavételezéssel (21. ábra).

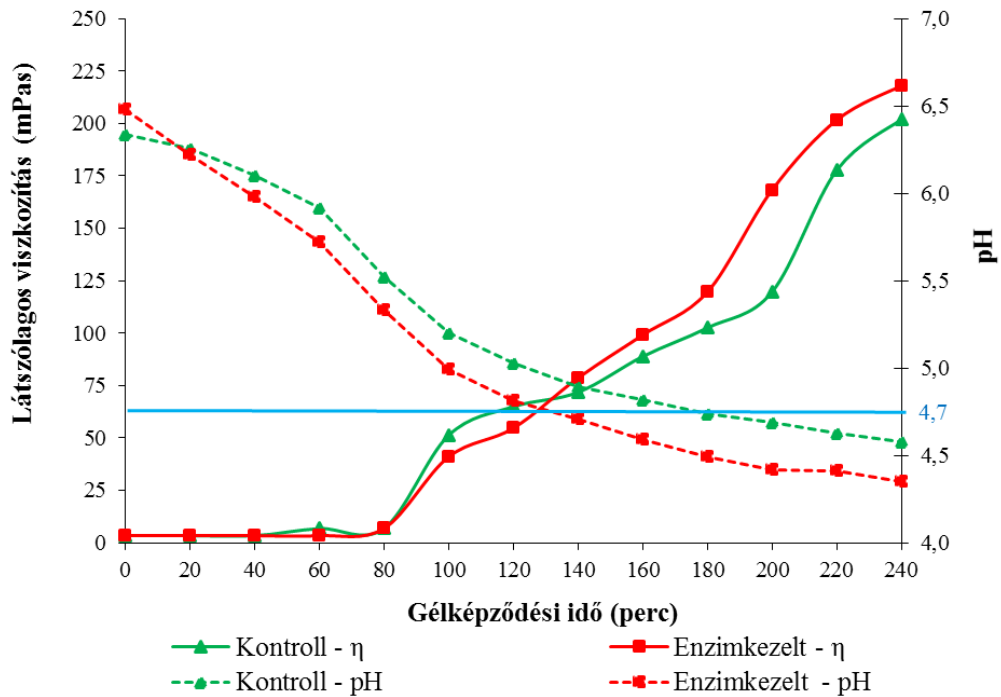


21. ábra A joghurt modell oldatban nem megkötődő fehérje aggregátum méretének változása a gélképződés alatt

A 21. ábra mutatja, hogy a gélképződés előrehaladtával egyre kisebb fehérje aggregátum volt a felülúszóban mind a kontroll, mind az enzimekelt modelloldatban. Ezt a jelenséget az enzimekeltés a fermentáció 30-140. percéig 95%-os megbízhatósági szinten szignifikánsan befolyásolta. Az mTG hatására a Glu és Lys közötti keresztkötések egy „szorosabb” fehérjehálójú gél kialakulásához vezettek, mint a kontroll esetén és ezért csökkent a gélből kiszorítható fehérje aggregátumok mennyisége.

A nehézvízes joghurt modell oldat gélképződési folyamatát a pH (2.6.1. fejezet) és látszólagos viszkozitás mérésével (2.6.4.2. fejezet) is nyomon követtem (22. ábra). Az ábra alapján megállapítható, hogy a kontroll és az enzimekelt modelloldat savanyodása, gélesedésének lefutása hasonló volt, mégis mind a két vizsgált tényezőt befolyásolta az mTG alkalmazása.

A pH 4,7 értéket az enzimekelt minta 130 perc alatt elérte, míg a kontrollnál ehhez további 40 percre volt szükség.



22. ábra A kontroll és az enzimkezelt (1 U/g fehérje) joghurt modell oldat látszólagos viszkozitásának ($D= 57,2$ 1/s) és pH értékének változása a gélképződés alatt

Az enzimkezelés hatására, annak 140. perctől a gélképződési idő végéig nagyobb látszólagos viszkozitás értéket mértem, ami arra utal, hogy az enzim aktivitását a pH 4,7-nél savasabb közegben is ki tudta fejteni, valamint a viszkozitás értékek megugrásából feltételezhető, hogy az mTG működéséhez kellő mennyiségű szubsztrát (kazeinfehérje) is rendelkezésre állt. Az e fejezetben tárgyalt kísérletek eredményeit a KFKI-vel közösen publikáltam egy koreai impakt faktoros folyóiratban (DARNAY et al. 2016). Az mTG tehát alkalmas volt sovány tejből készült tejpor oldatában a gélképződés folyamatának befolyásolására, ennek megállapítása indított az alacsony zsírtartalmú tejtermékek gélképződési és állományjellemzőinek vizsgálatára.

3.2. Az enzimkezelés hatása a savas alvasztású tejtermékek esetén

Ebben a fejezetben a hazánkban leginkább elterjedt savas alvasztású tejtermékek, a joghurt és a rögös túró mTG kezelés hatására bekövetkező beltartalmi, kihozatal, állomány és érzékszerv tulajdonságait mutatom be. Mindkét termék esetén hallottam hazai nagyüzemek kísérleti gyártásairól, ezek kapcsán számos kérdés, felvetés jutott el hozzám, amelyek biztattak az alábbi kísérletek elvégzésére.

3.2.1. Natúr pohárban alvasztott joghurt

3.2.1.1. A terméknek megfelelő enzim koncentráció megválasztása

Kísérleti céloom elsősorban az volt, hogy megállapítsam a szükséges és elégséges enzim koncentrációt a megfelelő állományú (jól kanalazható, savó kiválástól mentes) alacsony zsírtartalmú (1,5%) natúr pohárban alvasztott joghurt előállításához.

A joghurt minőségi jellemzőinek enzim koncentráció függését az alábbi, 14. táblázatában foglaltam össze.

14. táblázat A joghurt minőségi jellemzői az alkalmazott enzim koncentráció függvényében

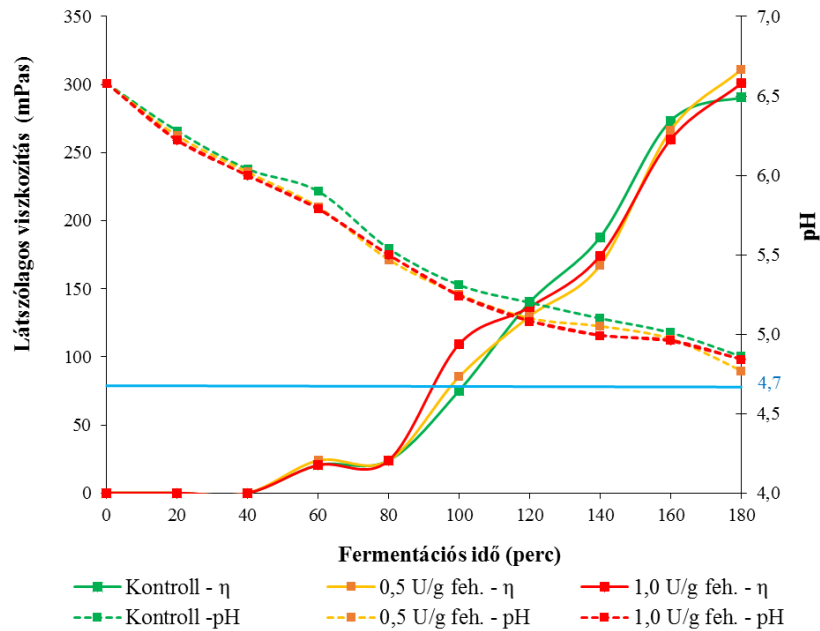
Enzim koncentráció (U/g fehérje)	Száranyag-tartalom (%)		pH	Savóeresztés (savó ml/ 100 g joghurt/óra)
	Joghurt	Savó		
0	10,60±0,30	6,79±0,16	4,65±0,05	19,05±0,06
0,5	11,16±0,07	6,58±0,30	4,64±0,04	20,92±0,01
1,0	11,90±0,30	6,47±0,08	4,61±0,06	13,69±0,05
1,5	12,21±0,25	6,40±0,21	4,66±0,05	15,64±0,03
2,0	13,26±0,41	6,29±0,24	4,63±0,07	18,67±0,04

A 14. táblázat adatai szerint a száranyag-tartalom az enzimkoncentráció emelésével egyenes arányban nőtt, ezzel egyidejűleg pedig csökkent a joghurtsavó száranyag tartalma. Az eredmény alapján arra lehet következtetni, hogy az mTG enzim savófehérjét tudott beépíteni a késztermékbe. Továbbá megállapítható, hogy a joghurttejben elég szubsztrát volt ahhoz, hogy az mTG még a legnagyobb (2,0 U/g fehérje) enzim koncentráció esetén is ki tudja fejteni a hatását.

A 23. és a 24. ábrán a gélképződési folyamat lejátszódását mutatom be a pH és a viszkozitás értékek változásán keresztül. A 23. ábra a 0-1 U/g fehérje enzim koncentráció tartomány hatását ábrázolja, míg a 24. ábra az ennél nagyobb enzimidagolását mutatja be.

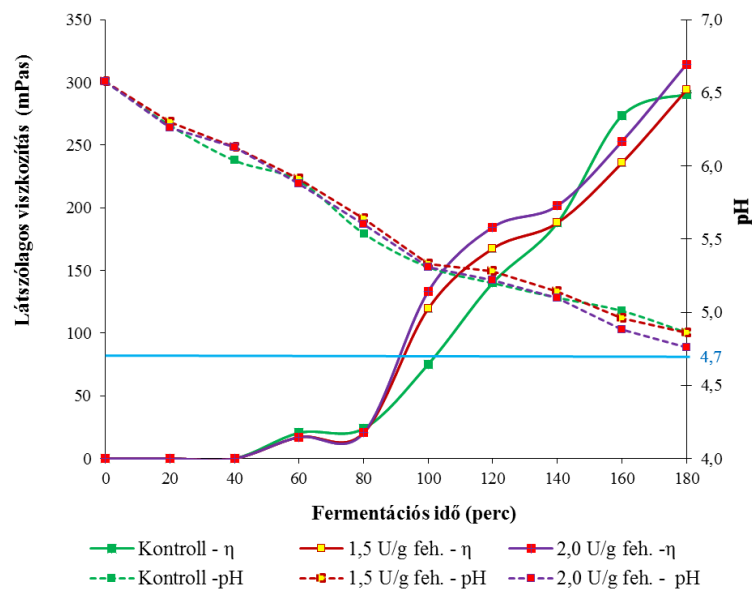
A nehézvízes joghurt modell oldathoz képest ez esetben már sokkal előbb (a 80. perc helyett a 40. perctől) elkezdődött a gélképződési folyamat. Ez az eltérés abból adódik, hogy bár a neutronos mérésnél használt 10%-os sovány tejporból készült modell oldat fehérje tartalma közel azonos volt (modell oldat = 3,3% fehérje; joghurttej = 3,1%) a zsírtartalma 2 nagyságrend alacsonyabb.

Amint a 23. és a 24. ábra is mutatja, a fermentációt pH 4,7 közelében leállítottam, hogy megakadályozzam a túlsavanyodást és az ezzel járó szinerézist. A fermentáció alatti pH-érték csökkenést vagyis a savanyodást nem befolyásolta az enzimidagolás a vizsgált enzim koncentráció tartományban. Ez az eredmény összhangban van ROMEIH et al. 2014-ben közzétett tanulmányával.



23. ábra Az alacsony zsírtartalmú kontroll és enzimkezelt (0,5 U/g fehérje, 1 U/g fehérje) joghurt tej látszólagos viszkozitásának ($D= 57,2$ 1/s) és pH értékének változása a fermentáció alatt

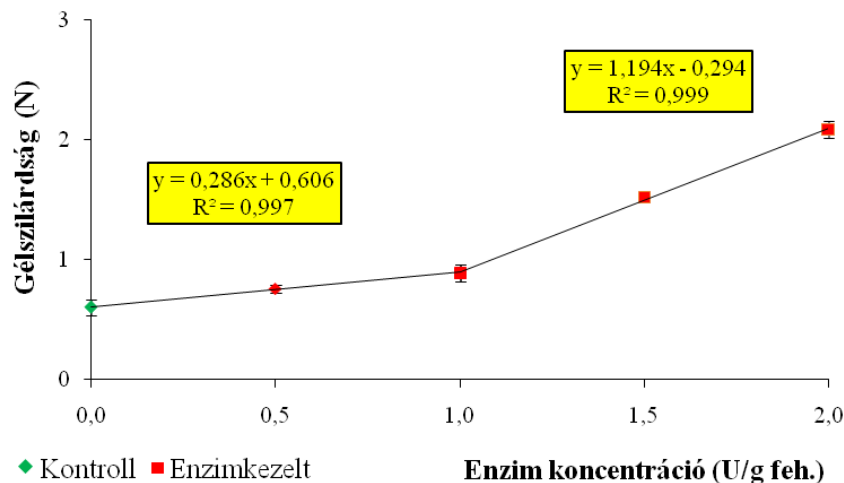
A gélképződést rotációs viszkoziméteres méréssel (2.6.4.2. fejezet) is nyomon követtem. A 23. és a 24. ábra alapján megállapítható, hogy az enzim koncentráció nem befolyásolta a szol-gél átalakulást. Ez az eredmény összhangban van SCHEY eredményeivel (2003) és ellentmond APRODU et al. (2011) tanulmányának. A gélképződés megindulása a 40. percre tehető (pH $6,1 \pm 0,06$) és a 80. perctől (pH $5,5 \pm 0,07$) kezdve a fermentáció végéig növekedést mutatott.



24. ábra Az alacsony zsírtartalmú kontroll és enzimkezelt (1,5 U/g fehérje, 2 U/g fehérje) joghurt tej látszólagos viszkozitásának és pH értékének változása a joghurt fermentáció alatt

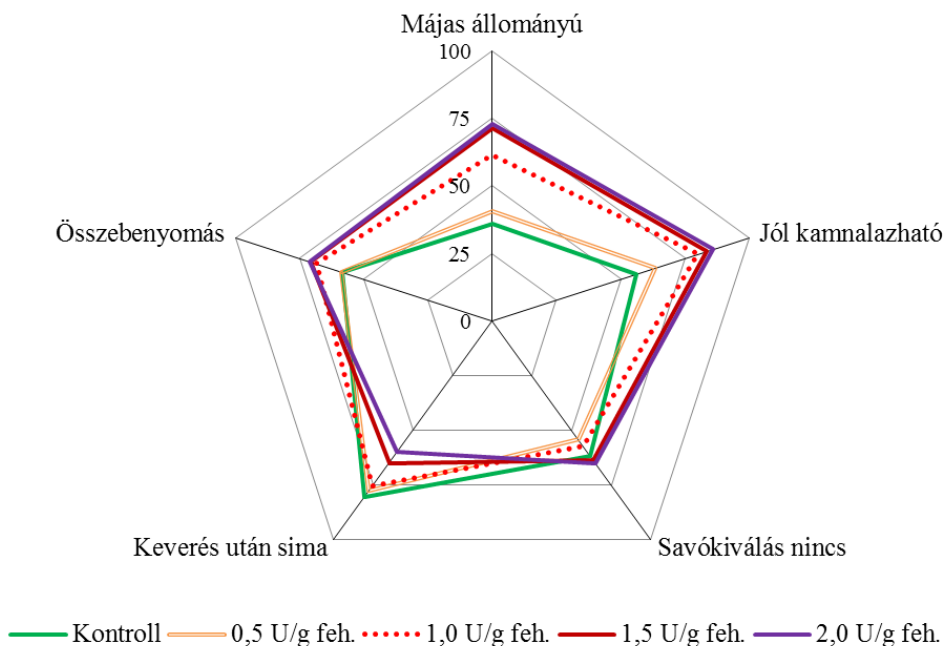
Az 1,5 U/g fehérje és 2,0 U/g fehérje enzim mennyiséggel készült joghurtok gélképződésének tulajdonságai eltértek a kontroll mintától, mert a fermentáció 100-120. percében magasabb látszólagos viszkozitás értéket mutattak. Feltételezhetően ez az enzimadagolás jobb reakciókészséghez vezetett, így az mTG a kazein micellák β -kazein részével több izopeptid kötést alakított ki (PARTSCHEFELD et al. 2009), amely a micelláris szerkezet stabilizálásához vezetett. Ez a hatás 140 perc után már nem volt megfigyelhető, ami annak az eredménye, hogy az enzim-szubsztrát egyensúly az enzim koncentrációtól nagyban függ.

A 25. ábrán a gélszilárdság mérés eredményét mutatom be.



25. ábra Az alacsony zsírtartalmú joghurt gélszilárdságának változása az enzim koncentráció függvényében

Az alacsony zsírtartalmú 1,5%-os kontroll joghurt gélszilárdsága 0,6 N volt. Viszonyításképpen a hagyományos (3,5%-os zsírtartalmú) joghurt gélszilárdsága azonos mérési körülmények között, átlagosan 0,8-0,9 N (CSAPÓ 2008). Megfigyeléseim alapján az enzim koncentráció emelésével a gélszilárdság lineárisan ($R^2=0,99$) nőtt. Továbbá ez a tendencia 1,0-2,0 U/g fehérje enzim koncentráció tartományban kifejezettebb, azaz 1 U/g fehérje enzim koncentrációváltozás az 1. szakaszban 32%-os gélszilárdság növekedéshez vezet, míg a 2. szakaszban (1,0 U/g fehérje felett) 57%-os változást idézett elő. Ezt követően az érzékszervi bírálatot végeztem állományprofil analízissel (lásd 2.7.2. fejezet, M2 melléklet 1. bírálati lap), hogy meghatározhassam azt az enzim koncentrációt, amelyik a fogyasztók számára is megfelelő gélszilárdság változáshoz vezet. Eredményeimet a 26. ábra szemlélteti.



26. ábra Az alacsony zsírtartalmú joghurt érzékszervi tulajdonságainak változása az enzim koncentráció függvényében

A 26. ábra jól mutatja, hogy 0,5 U/g fehérje enzim koncentráció alkalmazása a kontrollhoz képest nem javította szignifikánsan a joghurt egyik érzékszervi tulajdonságát sem. Az 1,0 U/g fehérje koncentrációtól azonban a növekvő enzimadagolás javította az állományt, a kamalmazhatóságot, kevesebb savó kiválást eredményezett és összességében is jobbnak értékelték a bírálók az így készült termékeket. Külön vizsgáltam a keverés utáni simaságot, mivel a fogyasztók többsége felbontás után a kanállal először megtöri, majd egyenletesen elkeveri a joghurtot. Fontos kiemelni, hogy eredményeim alapján a magasabb enzimkoncentrációval (1,5 U/g fehérje és 2,0 U/g fehérje) készült termékek esetén, az enzimkezelés hatására keverés utáni is megfigyelhetőek voltak kisebb-nagyobb alvadékszemcsék, azaz a termék csomós maradt, ami ronthatja a megítélését.

Ez a kísérletsorozat azt mutatta, hogy valódi gyártási körülmények között az enzimkezelésnek nincs szignifikáns hatása a pH csökkenésre és a szol-gél átalakulásra a fermentáció folyamán, a vizsgált enzim koncentráció tartományban. Az 1,0 U/g fehérje enzimadagolás esetén tapasztaltam a legmegfelelőbb állományt és érzékszervi jellemzőket (27. ábra). Ennek az enzimkoncentrációnak a megfelelőségét a tudományos irodalom is számos helyen visszaigazolta (GAUCHE et al. 2007; ŞANLI et al. 2010; WROBLEWSKA et al. 2010; YÜKSEL és ERDEM 2010). Mindezek következtében a további kísérletekben ezt az enzim koncentrációt alkalmaztam a kísérleti joghurt készítésekor.



27. ábra Az alacsony zsírtartalmú enzimkezelt (bal) és kontroll (jobb) joghurt kanalizhatóságának vizsgálata az érzékszervi bírálat során

Az e fejezetben bemutatott eredményekből a közelmúltban impakt faktoros publikáció is született a horvát *Mljekarstvo* folyóiratban (DARNAY et al. 2016).

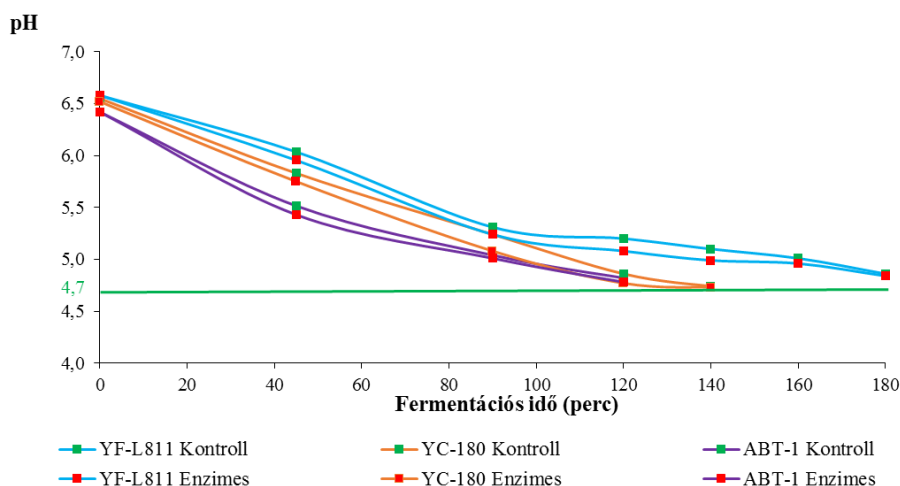
3.2.1.2. Az alkalmazott starter kultúra és az mTG hatása

A starter kultúra hatásának vizsgálatokor három kísérleti célt tűztem ki:

1. Bemutatni, hogy a hagyományos tejsavbaktériumokat tartalmazó starter kultúrához YF-L811 (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*) képest milyen szerepe van más törzseket tartalmazó tenyészeteknek YC-180 (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis*), és az ABT-1 (*Lactobacillus acidophylus* LA-5, *Bifidobacterium animalis subsp. lactis*) a joghurt állománykialakulásában
2. Ha van, melyik az a starter kultúra, amelyiket alkalmazva az mTG enzim kedvező tulajdonságai leginkább megmutatkoznak?
3. Milyen állományjellemzőkre hat az enzimkezelés a kiválasztott kultúrák esetén a 2 hetes tárolás során?

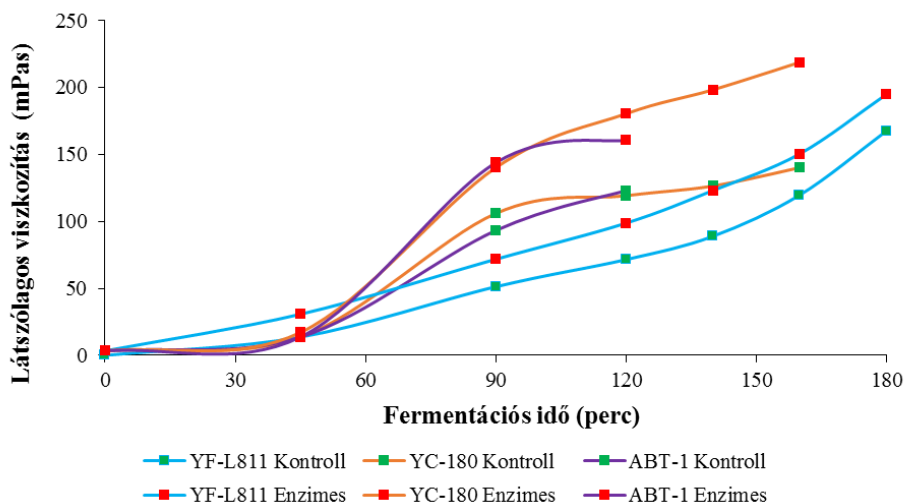
3.2.1.2.1. Az enzim működéséhez legmegfelelőbb starter kultúra kiválasztása

A 28. ábrán a fermentáció alatti pH csökkenését mutatom be a starter kultúra és az enzimkezelés hatására.



28. ábra Az alacsony zsírtartalmú kontroll és enzimekelt joghurt tej pH értékének változása az alkalmazott starter kultúra hatására a fermentáció alatt

Eredményeim alapján elmondható, hogy az enzimekzésnek nem volt szignifikáns hatása a savanyodásra, viszont a YF-L811 és a YC-180 kultúrák tejsav termelése között a 120. perctől 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns különbség volt. A hagyományos tejsavbaktérium párosítást tartalmazó YF-L811-el készült joghurt fermentációja tartott a legtovább (3 óra alatt érte el a pH 4,7-t). Ennél 40 perccel hamarabb befejeződött a *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis*-t is tartalmazó YC-180-al készült joghurt alvadása. A leggyorsabb pH csökkenést a probiotikus kultúrát tartalmazó ABT-1-el készült joghurt esetén tapasztaltam. Ennek pontos okára az irodalom nem ad magyarázatot. Eredményeimhez hasonlóan MITUNIEWICZ-MALEK et (2014) kecsketejben megerősítette, hogy az mTG nincs hatással a *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* szaporadására. A 29. ábrán a látszólagos viszkozitás (2.6.4.2. fejezet) fermentáció alatti változását mutatom be a különböző starter kultúrák és az enzimekzés hatására.



29. ábra Az alacsony zsírtartalmú kontroll és enzimekelt joghurt tej látszólagos viszkozitásának változása az alkalmazott starter kultúra hatására a fermentáció alatt

A 29. ábra alapján elmondható, hogy a 90. perctől a YF-L811 és a YC-180 tejsav termelése 95%-os megbízhatósági szinten eltért egymástól. Az enzimkezelés hatása 99%-os megbízhatósági szinten szignifikáns volt a YC-180 kultúra esetén. Amennyiben csak a kultúrákat hasonlítjuk össze, akkor látható, hogy a legmagasabb látszólagos viszkozitást a YF-L811-es kultúra esetén értem el, ami 16%-kal magasabb, mint a YC-180-nál és 26%-kal magasabb, mint az ABT-1 esetén.

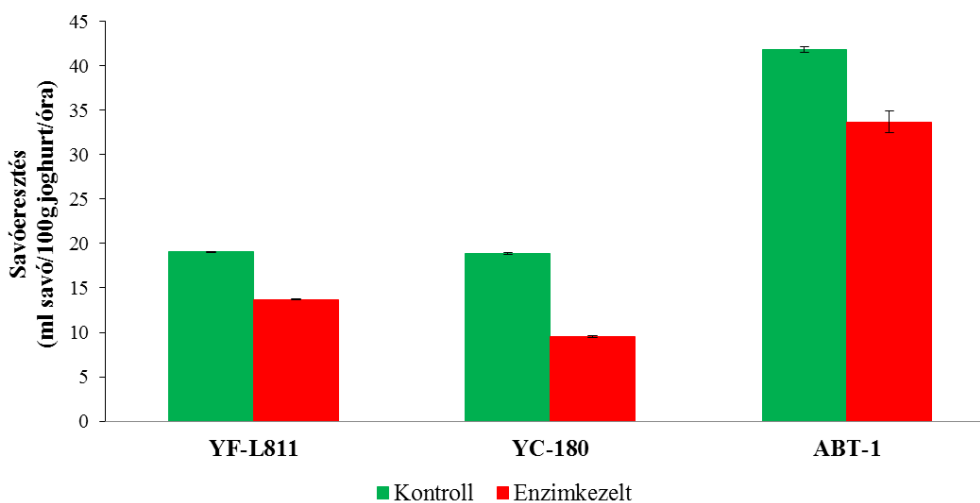
Az elkészült joghurtok szárazanyag tartalma az alkalmazott starter kultúra és enzimkezelés függvényében a 15. táblázatban látható.

15. táblázat A joghurt minőségi jellemzői az alkalmazott starter kultúra és enzimkezelés függvényében

Starter kultúra	Szárazanyag tartalom (%)		pH	Savóeresztés (savó ml/ 100 g joghurt/óra)
	Joghurt	Savó		
YF-L811 – Kontroll	10,60±0,23	6,79±0,16	4,65±0,05	19,05±0,06
YF-L811 - Enzimkezelt	11,90±0,26	6,47±0,07	4,61±0,06	13,69±0,05
YC-180 – Kontroll	10,63±0,05	5,84±0,06	4,52±0,04	18,88±0,15
YC-180 - Enzimkezelt	9,67±0,12	7,07±0,06	4,63±0,06	9,51±0,10
ABT-1 – Kontroll	10,19±0,11	6,07±0,19	4,32±0,04	41,81±0,33
ABT-1 – Enzimkezelt	9,82±0,07	6,09±0,04	4,43±0,06	33,68±1,20

A 15. táblázat alapján egyértelműen megállapítható, hogy a joghurtok szárazanyag tartalma az enzimkezelés hatására a YF-L811 starter kultúra esetén magasabb volt a kontrollnál. Ez a tendencia az előző kísérletsorozathoz hasonlóan a savó szárazanyagtartalmának csökkenésével járt, ami a savófehérjék beépítésével magyarázható.

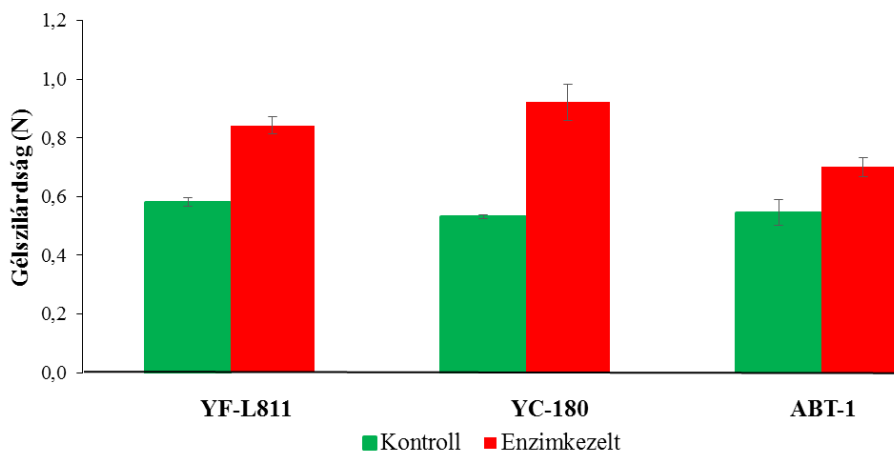
A 30. ábrán a savóeresztés változását ábrázolja a joghurtkultúra és az enzimkezelés hatására.



30. ábra A kontroll és enzimkezelt joghurt savóeresztésének változása a starter kultúra függvényében

A 30. ábra jól mutatja, hogy az enzimkezelés hatására a starter kultúrától függetlenül csökkent a savóeresztés. Elmondható, hogy míg az YC-180-as kultúrában lévő a *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis* nem szignifikánsan csökkentette a savóeresztést az YF-L811-eshez képest, de az ABT-1 kultúra esetében több, mint kétszerannyi savó távozott a joghurtból, mint előbbieket esetén. Az YF-L811-es kultúra esetén mért savóeresztés csökkenést (37%-kal kevesebb az enzimkezeltnél, mint a kontrollnál) román kutatók (APRODU et al. 2011) is tapasztalták (esetükben 1,8% zsírtartalmú joghurt szinerézise 25%-kal csökkent az mTG hatására). Az enzimkezelés hatása 95%-os megbízhatósági szinten minden kultúránál szignifikáns volt a kontrollhoz képest, sőt az mTG savóvisszatartó hatása minden egyes törzsnél szignifikánsan eltért. Összességében elmondható, hogy az YC-180 esetében kaptam a legígéretesebb eredményt. Ahogy korábban is említettem, ez a kultúra csupán a *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis*-ban tért el az YF-L811-től.

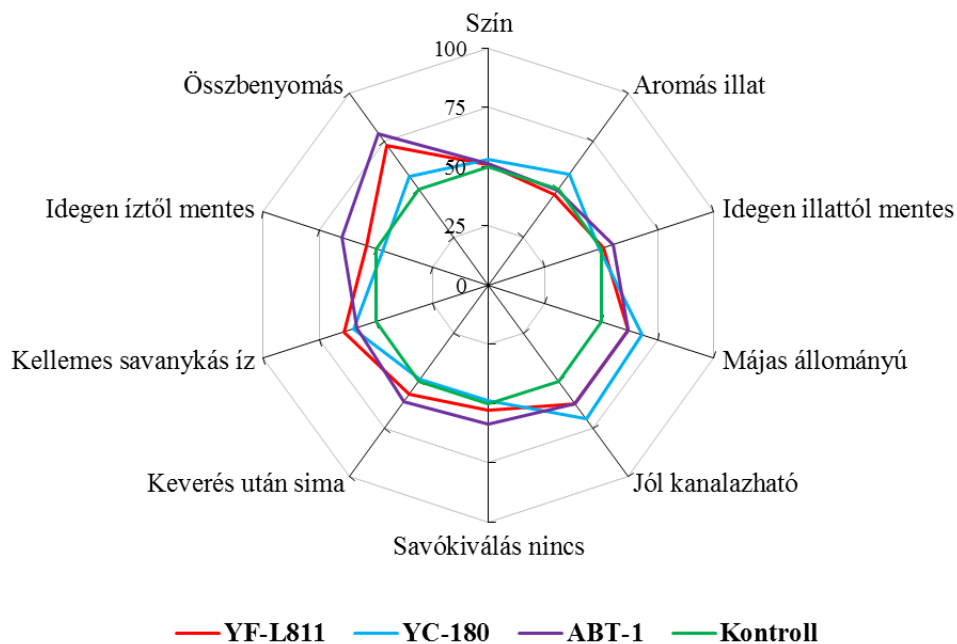
A 31. ábrán a joghurtok gélzilárdságát ismertetem a kultúrák és az enzimkezelés hatására.



31. ábra Különböző kultúrával kontroll és enzimkezelt joghurt gélzilárdságának változása a starter kultúra függvényében

A fenti ábra kontroll mintáinak értékei alapján elmondható, hogy a kultúrák önmagukban nem befolyásolták szignifikánsan a gélzilárdságot. Ezzel szemben az enzimkezelés hatása 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns volt a gélzilárdságra minden vizsgált kultúra esetén. Eredményeim alapján az 1 U/g fehérje enzim koncentráció 22%-kal emelte a gélzilárdságot, amely összhangban van a szerb kutatók eredményeivel (ILČIĆ et al. 2013). Ők 0,9% zsírtartalmú probiotikus (ABT-4)-es kultúrával készült joghurtnál a kontrollhoz képest 18%-kal magasabb gélzilárdságot mértek 0,7 U/g fehérje enzim koncentráció esetén. Az mTG a savóeresztés leginkább a YC-180 kultúra esetén tudta gátolni. Annak megállapítására, hogy ez a változás valóban előnyös-e a termékre nézve, ismét érzékszervi bírálatot végeztem. A kiértékelést úgy végeztem, hogy a bírálók minden egyes kultúránál a skála közepén (50) rögzített referencia

mintához, vagyis a kontrollhoz viszonyították az enzimkezelt terméket, így a 32. ábra az enzimkezelés hatását mutatja.



32. ábra Az alacsony zsírtartalmú kontroll és enzimkezelt joghurt érzékszervi tulajdonságainak változása a starter kultúra függvényében

A 32. ábra tanúsága szerint az enzimkezelés a YF-L811 és az ABT-1 kultúrával készült joghurt esetén vezetett jobb érzékszervi megítéléshez. Az összbenyomás javulását leginkább a májas állomány, a kanalizhatóság javulása és a savóeresztés csökkenése váltotta ki. Megállapítható, azonban, hogy a savóeresztést leszámítva a YC-180-as kultúrával készült termék megítélése is sokat javult az mTG hatására.

A starter kultúrák és az mTG együttes vizsgálata után arra jutottam, hogy a hagyományos tejsavbaktérium párosítást tartalmazó YF-L811-hez képest a *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis*-t is tartalmazó YC-180 esetén előnyösebb az mTG enzim 1,0 U/g feh koncentrációban történő alkalmazása. Egyrészt, mert a fermentációs idő 40 perccel rövidebbé vált, másrészt a kész joghurt gélszilárdsága az mTG hatására úgy javult, hogy ezt a bírálók is megfelelőnek értékelték. Mindazonáltal mivel a YF-L811-es kultúrával készült enzimkezelt joghurt is hasonlóan jó eredményt mutatott, ezért azt is bevontam a további, tárolási kísérletekbe.

3.2.1.2.2. Tárolási kísérletek a YF-L811 és YC-180 starter kultúrákkal

Ennek a kísérleti fejezetnek a célja annak megállapítása, hogy a az előző fejezetben kiválasztott 2 kultúra közül melyik képes az mTG enzimmel megfelelő állományú és érzékszervi tulajdonságokkal rendelkező, jó eltarthatóságú termék kialakítására.

Az alábbi 16. és 17. táblázatban mutatom be, hogy a YFL811 és a YC-180 esetén hogyan hatott az enzimkezelés a joghurtok minőségi jellemzőire a 2 hetes tárolás alatt.

16. táblázat A joghurt minőségi jellemzői YF-L811-es kultúra alkalmazása esetén az enzimkezelés és a tárolási idő függvényében

Tárolási idő (hét)	Kezelés	Szárazanyag tartalom (%)	pH	Savóeresztés (savó ml/100 g joghurt/óra)
0	Kontroll	10,60±0,23	4,65±0,05	19,05±0,06
	Enzimkezelt	11,90±0,26	4,61±0,06	13,69±0,05
1	Kontroll	11,25±0,11	4,70±0,06	23,50±0,22
	Enzimkezelt	11,41±0,15	4,75±0,04	28,50±0,15
2	Kontroll	10,67±0,09	4,62±0,05	31,50±0,43
	Enzimkezelt	11,11±0,12	4,63±0,04	32,00±0,51

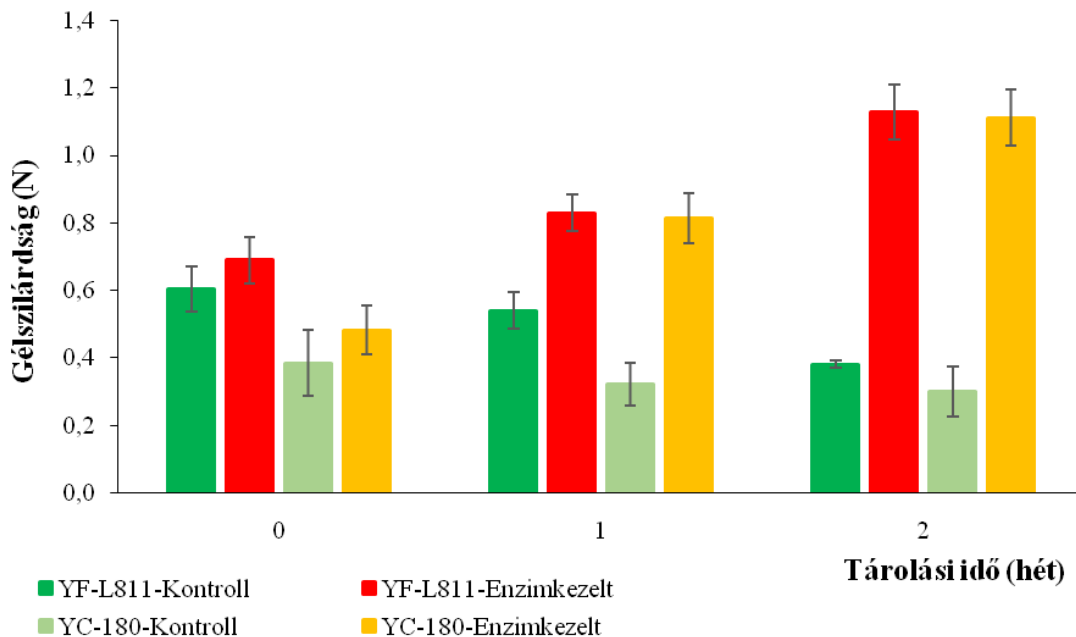
A YF-L811-es kultúra alkalmazása esetén a joghurt szárazanyag tartalma magasabb lett az enzimkezelés hatására. Mindazonáltal elmondható, hogy a vizsgált tárolási idő alatt a mért értékek a hibahatáron belül állandóak maradtak.

17. táblázat A joghurt minőségi jellemzői YC-180-as kultúra alkalmazása esetén az enzimkezelés és a tárolási idő függvényében

Tárolási idő (hét)	Kezelés	Szárazanyag tartalom (%)	pH	Savóeresztés (savó ml/100 g joghurt/óra)
0	Kontroll	10,62±0,12	4,52±0,04	18,88±0,15
	Enzimkezelt	10,49±0,05	4,63±0,06	9,51±0,10
1	Kontroll	10,53±0,04	6,81±0,11	21,33±0,07
	Enzimkezelt	10,41±0,07	6,26±0,05	13,10±0,05
2	Kontroll	10,06±0,05	7,18±0,06	29,45±0,06
	Enzimkezelt	9,98±0,11	6,05±0,04	36,37±0,05

A gyártás utáni napon a YF-L811 kultúra esetén 28%-kal, a YC-180 esetén 50%-kal lett alacsonyabb a savóeresztés az mTG hatására. Megállapítottam, hogy a YC-180 kultúra esetén az enzimkezelés hatása a késztermék savóeresztésére a gyártás követő napon (0. időpont) és 1 hetes tárolás után is 95% megbízhatósági szinten szignifikáns volt. Azaz az mTG valóban képes volt a savó visszatartására, azonban a tárolási idő előrehaladtával az enzimkezelt joghurt savóeresztése egyre rosszabbá vált. Így a YF-L811-nél 1 hét múlva, míg a YC-180 esetén 2 hetes tárolás után több savót engedtek a joghurtminták. Feltételezésem szerint az mTG által létrehozott fehérjeháló még fokozta az alvadék zsugorodásának (szinerézis) savó kiszorító hatását. Azaz megállapítottam, hogy az enzimkezelés és az alkalmazott kultúra a savóeresztés szempontjából is fontos a termék minőség megőrzésének szempontjából.

A 2 hetes tárolás alatti gélszilárdság változást a starter kultúra és az enzimkezelés függvényében a 33. ábra mutatja.

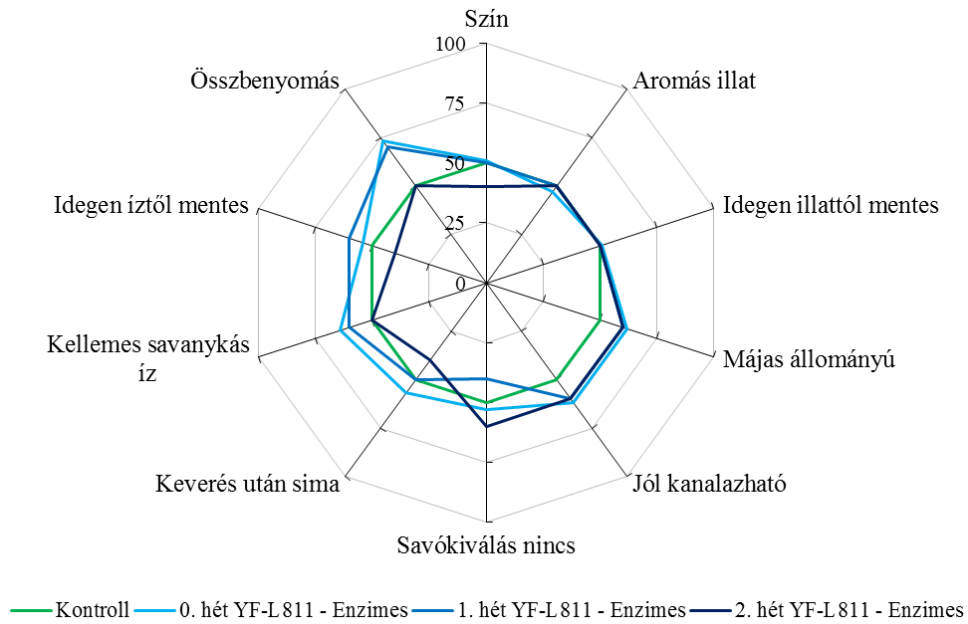


33. ábra Az alacsony zsírtartalmú kontroll és enzimkezelt joghurt gélszilárdságának változása a starter kultúra és a tárolási idő függvényében

A fenti, 33. ábra alapján megállapítható, hogy a YF-L811-es kultúrával készült joghurt gélszilárdsága 1 hétig stabilnak tekinthető, míg a *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis*-t tartalmazó YC-180-as kultúráé 2 hétig. Az enzimkezelés hatása 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns volt a kontroll párhoz képest a 2 hetes tárolás alatt. Az is megállapítható, hogy az mTG úgy javította a gélszilárdságot, hogy mind az 1., mind a 2. héten „kvázi” eltüntette a kultúrák eltéréséből származó állomány különbségeket. Másképpen fogalmazva az mTG a kultúrától függetlenül javította a gélszilárdságot, úgy hogy az elért értékekben nem volt szignifikáns különbség a starter kultúrák között.

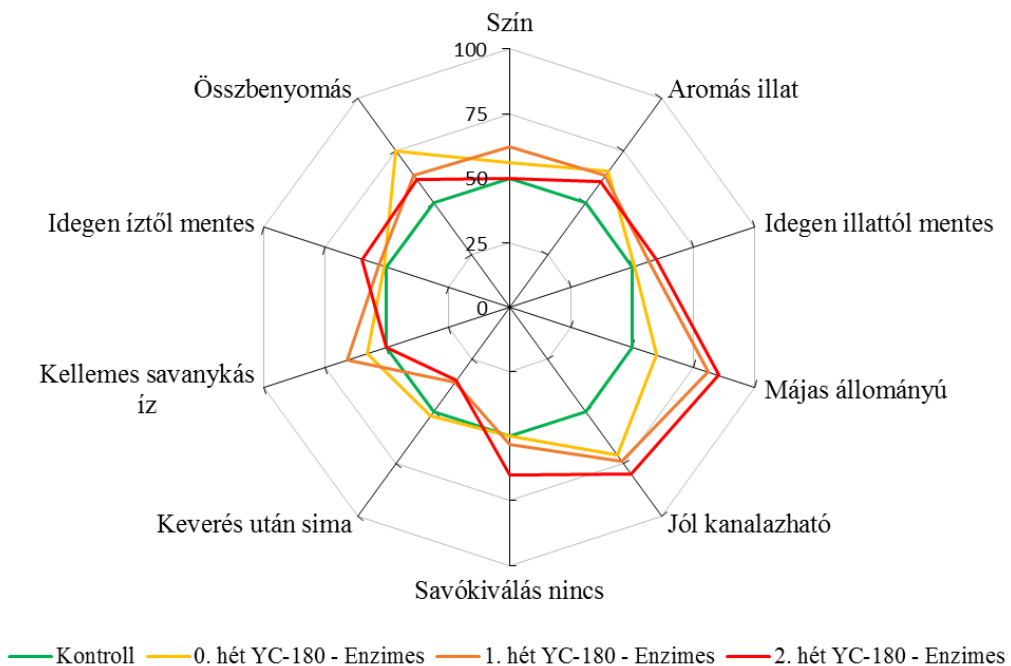
Az előző fejezethez hasonlóan ez esetben is az érzékszervi bírálat alapján szerettem volna döntést hozni, hiszen a termék fogyasztói megítélése az egyik legfontosabb tényező egy esetleges termékfejlesztés esetén. Az érzékszervi bírálatok eredményeit a kétféle kultúrára lebontva mutatom be. Először a YF-L811-es kultúrával készült joghurt érzékszervi eredményeit ismertetem a 34. ábrán.

A 34. ábra alapján elmondható, hogy a YF-L811 kultúra alkalmazása esetén az enzimkezelés hatására a kellemesen savanykás íz, a kanalazhatóság, májas állomány és a savó kiválás a tárolás végéig magasabb pontszámokat kapott a kontroll termékénél. Azaz az mTG állományjavító hatása stabilnak bizonyult.



34. ábra Az alacsony zsírtartalmú kontroll és enzimekelt joghurt érzékszervi jellemzőinek változása a YF-L811 starter kultúra hatására tárolási idő függvényében

A 35. ábrán a a *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis*-t is tartalmazó YC-180-as kultúrával készült kontroll és enzimekelt joghurtok érzékszervi bírálatának eredményét mutatom be.



35. ábra Az alacsony zsírtartalmú kontroll és enzimekelt joghurt érzékszervi jellemzőinek változása a YC-180 starter kultúra hatására a tárolási idő függvényében

A 35. ábra tanúsága szerint a YC-180-as kultúra esetén az mTG-vel kezelt temékeknek nemcsak az íze, állománya és savóvisszatartása volt jobb a kontrollhoz képest, hanem a színe és

az illata is. Ez annak köszönhető, hogy kedvezően hat az 1 U/g fehérje enzimadagolás a YC-180-as kultúrában lévő *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis* összcsíraszámára, ennek következtében íz és aromakialakító szerepére (ŠOKEC et al. 2007)

Ebből a kísérletsorozatból kiderült, hogy az mTG gélszilárdság javító hatása mindkét kultúra esetén megmaradt egészen a tárolás végéig. Az érzékszervi bírálat alapján elmondható, hogy az mTG hatására javult az íz, a kanalazhatóság, mindamelllett, hogy a kialakuló szilárdabb gél a hetek múlásával egyre kevésbé keverhető csomómentessé. Megállapítottam, hogy az alvadék öregedésének következtében, a tárolás során természetesen előforduló savó kiválást a bírálók alig érzékelték az enzimkezelt joghurtoknál. A YC-180-as kultúra alkalmazásakor az enzimkezelt termékek esetén nemcsak az íz és az állomány javult a kontroll mintához képest, hanem a termék színe és illata is.

3.2.2. Rögös állományú túró

A savas alvasztású sajtok közül hazánkban egyértelműen a legismertebb és legnépszerűbb a rögös állományú túró. Ennél a terméknel gyakori minőségi hiba a savó kiválás, amely zacskós kiszérelés esetén a fogyasztóban is rossz érzést vált ki. Az mTG enzim savó megkötő képességéről az irodalmi részben már bőven említést tettem, most csak hangsúlyozni szeretném, hogy erre az előnyös tulajdonságára sok hazai tejipari szereplő is felfigyelt. Mindazonáltal az enzim alkalmazása számos gyártástechnológiai kérdést vet fel (enzimkészítmény típusa, enzim koncentráció és az mTG adagolás időzítése), amelyek megoldására ipari megkeresés alapján magam is vállalkoztam.

3.2.2.1. A terméknek megfelelő enzimkészítmény megválasztása

Az 1. kísérletsorozatban arra kerestem a választ, hogy melyik enzimkészítmény alkalmazásával lehet jobb eredményt elérni a kontrollhoz képest. Jó eredményt jelent, ha az Élelmiszerkönyv előírásainak megfelelő (min. 25% szárazanyag tartalom) terméket gyártunk, úgy hogy mindeközben a kihozatala nagyobb legyen, mint a hagyományos gyártástechnológiával készült túróé.

Itt szeretném újra kiemelni a 2 készítmény közti fő különbségeket, az Activa TG HNF esetén az mTG mellett maltodextrin és ammónium-klorid a hordozó, míg a Probind CH esetén tejfehérjék és laktóz. Az enzim tényleges mennyisége, a készítményen belül, a gyártó titka, a megadott enzimaktivitás a készítményre vonatkozik.

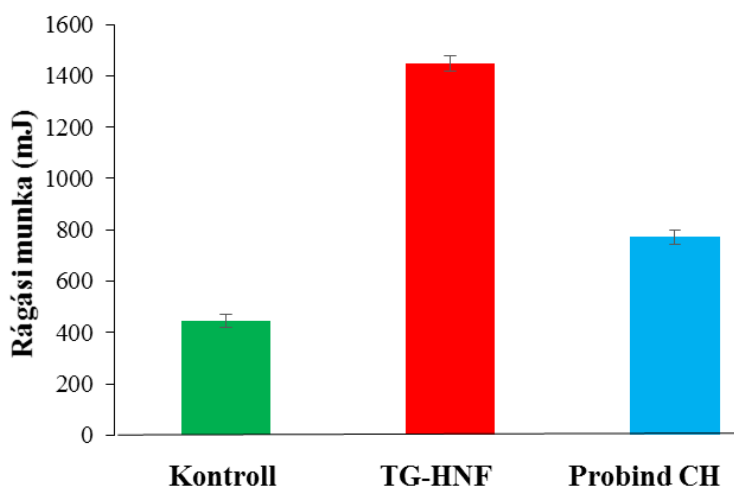
A 18. táblázatban összefoglaltam a kísérleti gyártás után kapott legfontosabb termékjellemzőket.

18. táblázat Az enzimek készítmény hatása a késztermékre

Enzim neve	Enzim koncentráció (U/g fehérje)	Száranyag (%)		Kihozatal (kg / 10 l tej)	Kihozatal (25% sza.-nál) (kg / 10 l tej)
		Késztermék	Savó		
Kontroll	0	25,96±0,21	6,82±0,07	1,73±0,04	1,66±0,04
TG HNF	0,12	24,22±0,15	6,75±0,05	2,23±0,05	2,23±0,03
Probind CH	0,12	23,30±0,19	6,70±0,06	2,11±0,05	2,26±0,04

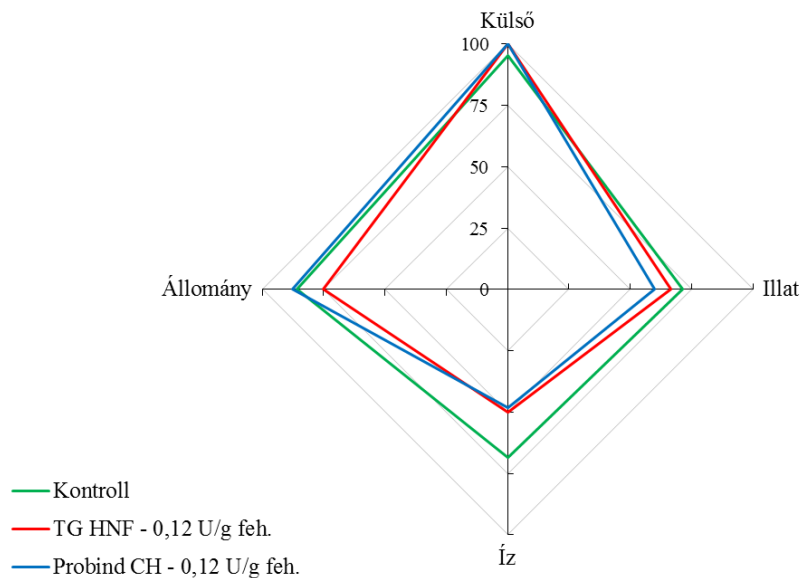
A 18. táblázat tanúsága szerint a kontrollhoz képest mindkét enzimek készítménnyel jobb kihozatalt értem el, de az enzimekkel készített termékek szárazanyag-tartalma 25% alatti volt, ami kizárja a piacra kerülésüket.

A 36. ábrán az állományjellemzők közül a rágási munkát (2.6.4.3.4. fejezet) mutatom be az enzimek készítmény függvényében.



36. ábra Az enzimek készítmény hatása a rögös állományú túró által kifejtett rágási munkára

A 36. ábra alapján megfigyelhető, hogy a kontrollhoz képest mindkét enzimek készítménnyel gyártott termékénél 95%-os megbízhatósági szinten szignifikánsan nagyobb rágási munkát mértem. A 2 készítmény közül a TG-HNF bizonyult hatékonyabbnak. Ennek hátterében nagy valószínűséggel a maltodextrin áll, amelyet legtöbbször poralakban használnak az mTG stabilizálásakor (BOURNEOW et al. 2012). Az állománymérés után az érzékszervi bírálat alkalmával volt mód arra, hogy megállapítsam: az ilyen mértékű állományváltozás elfogadható-e? Az eredményeimet a 37. ábrán mutatom be.



37. ábra Az enzimekészítmény hatása a rögös állományú túró érzékszervi jellemzőire

A 37. ábra alapján elmondható, hogy 0,12 U/g fehérje enzim koncentrációnál a Probind CH által kiváltott állománymódosítást alig érzékelték a bírálók, míg a TG HNF-et lepontozták. Azt is megállapítottam, hogy bár a külső megjelenés és az illat alapján az enzimekezelt termékek a kontrollhoz hasonló megítélést kaptak, de az íz tekintetében elmaradtak attól. A Probind CH esetén a túró nem réteges, hanem lemezes szerkezetű lett ugyanolyan gyártástechnológia mellett, amely viszont kizáró tényező. Ennek pontos okát a kísérletek során nem sikerült kideríteni. Mindazonáltal a készítménygyártó jelezte, hogy szeretne további kísérleteket folytatni a termékkel.

Összességében megállapítottam, hogy bár érzékszervi szempontból a TG HNF kissé rosszabbnak bizonyult a másik enzimekészítménynél, de alkalmazásával a túró rögös állományú lett (38. ábra) és a kihozatal ígéretesnek tűnt, ezért a további kísérletekben a TG HNF enzimekészítményt alkalmaztam.



38. ábra Megfelelő rögös állományú túró TG HNF enzimekezéés után

3.2.2.2. A terméknek megfelelő enzim koncentráció megválasztása

Ebben a kísérletsorozatban arra keresem a választ, hogy melyik az az enzim koncentráció, amelyik ideális a gyártó és a fogyasztó szempontjából egyaránt. Azaz a tejfeldolgozó szempontjából: megfelelő a túró szárazanyag-tartalma, jó a kihozatala, de emellett az enzim költségét elbírja a termék.

19. táblázat Az enzim koncentráció hatása a kontroll és enzimkezelt rögös túró és túrósavó száraz anyag tartalmára és kihozatalára

Enzim koncentráció (U/g fehérje)	Szárazanyag (%)		Kihozatal (kg / 10 l tej)
	Késztermék	Savó	
Kontroll	25,96±0,04	6,52±0,07	1,72±0,04
0,04	25,00±0,04	6,60±0,02	1,93±0,05
0,07	24,83±0,04	6,63±0,01	2,11±0,04
0,12	24,22±0,05	6,67±0,02	2,23±0,03

A 19. táblázat alapján megállapítható, hogy a kontrollhoz (25,96%) képest az enzim koncentráció emelésével csökkent a túró szárazanyag-tartalma, így bebizonyosodott, hogy a 25%-os küszöböt a 0,04 U/g fehérje enzim koncentráció esetén lehet csak biztosítani. Megfigyeltem, hogy ennek következtében a savó szárazanyag-tartalma a 0,04 U/g fehérje enzim koncentráció felett már a kontrollnál is magasabb lett. Ez az eredmény, ellentmond HAN et al. (2003) kutatásainak, akik az mTG koncentráció emelésével a savóban lévő savófehérje mennyisége csökkenését tapasztalták (10. ábra, HAN et al. 2003).

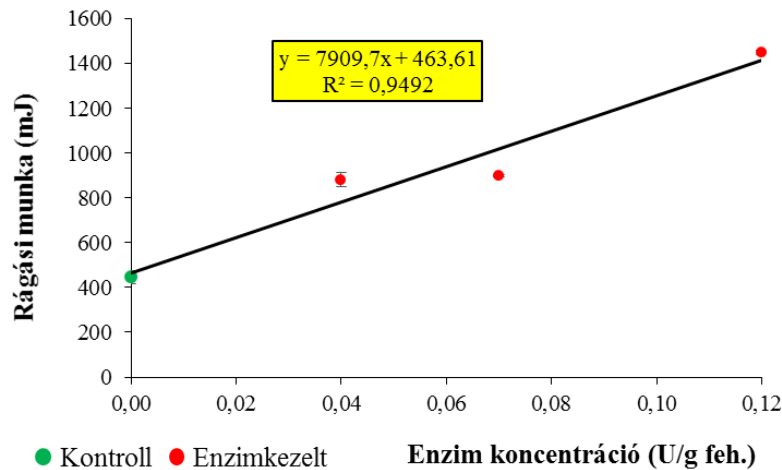
A 20. táblázatban ezt a kihozatalt az Élelmiszerkönyv által előírt, 25%-os szárazanyag (sza.) tartalomra egységesítettem. A 20. táblázat alapján elmondható, hogy az enzimkezelés koncentrációtól függetlenül 95%-os megbízhatósági szinten szignifikánsan növelte a túró kihozatalát a kontrollhoz képest.

20. táblázat Az enzim koncentráció hatása a kontroll és enzimkezelt rögös túró kihozatalára azonos (25%) szárazanyag tartalomra számolva

Enzim koncentráció (U/g fehérje)	Kihozatal 25% sza. (kg/10 l tej)	mTG hatása (25% sza.-nál) (%)
Kontroll	1,66±0,04	-
0,04	1,93±0,05	11,25
0,07	2,12±0,04	18,66
0,12	2,30±0,03	25,17

Az eredményeim azt mutatják, hogy már a legalacsonyabb (0,04 U/g fehérje) enzim koncentráció esetén is 11%-kal javult a kihozatal a kontrollhoz képest. A magasabb enzim

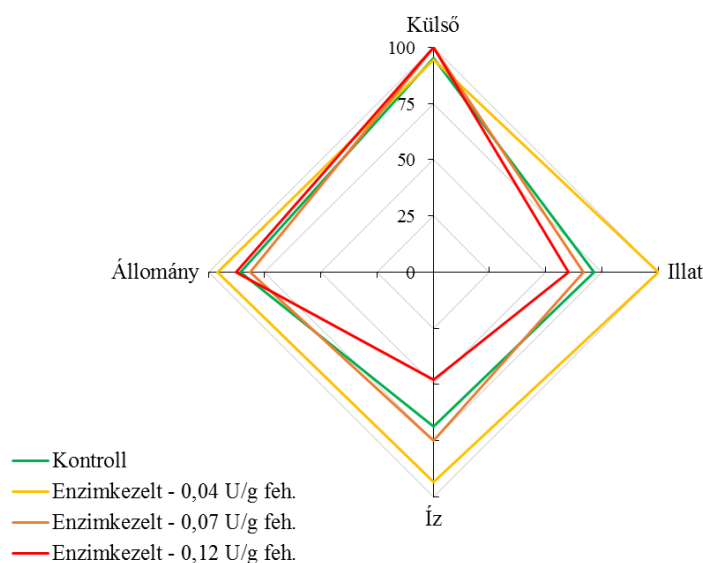
koncentrációk esetén folytatódott ez a tendencia, azaz 0,07 U/g fehérje esetén 19%-kal, 0,12 U/g fehérje adagolásakor pedig 25%-kal javult a kihozatal a kontrollhoz képest. A késztermék állományjellemzőit (2.6.4.3.4. fejezet) ismét a rágási munka értékek alapján ítélt meg. Eredményeimet a 39. ábra szemlélteti.



39. ábra Az enzim koncentráció hatása a rögös állományú kontroll és enzimkezelt túró által kifejtett rágási munkára

A 39. ábra tanúsága szerint az enzim koncentráció emelésével lineárisan nő a mintával szemben kifejtett rágási munka, azaz a túrószemcsék az objektív mérés szerint egyre rágósabbá/gumisabbá váltak.

Az érzékszervi bírálat célja ezúttal is az volt, hogy megállapítsam: az enzim által kiváltott állományváltozás mennyire volt elfogadható a bírálók szerint, valamint hogy az mTG hatott-e az egyéb érzékszervi jellemzőkre, így a külsőre, színre, illatra? A bírálat eredményét a 40. ábrán foglaltam össze.



40. ábra Az enzimkoncentráció hatása a rögös állományú túró érzékszervi jellemzőire TG HNF enzimekésztmény esetén.

A 40. ábra alapján megállapítottam, hogy a 0,04 U/g fehérje koncentráció minden vizsgált érzékszervi jellemzőben a termék előnyére vált, míg az enzimadagolás további emelésével ez a hatás elsősorban az illat és az íz tekintetében leromlott. Habár a 0,07 U/g fehérje adagolás esetén az enzimkezelt túró a kontrollal megegyező pontszámot kapott, addig a 0,12 U/g fehérje mTG koncentráció esetén, valószínűleg a túladagolás következtében, mind az illat, mind az íz megítélése rosszabb volt a kontrollhoz képest.

Összességében eredményeim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a TG HNF adagolása 0,04 U/g fehérje koncentrációban a törvényi előírásoknak megfelelő és érzékszervileg kimagasló termékhez vezet, amelynek kihozatala már nagy valószínűséggel fedezni képes az enzimkezelés okozta járulékos költségeket és jelentős haszonnal kecsegtett. Ezért a további kísérletekben ezt az enzim koncentrációt alkalmaztam.

3.2.2.3. Az enzimadagolás időzítésének szerepe a késztermék minőségében

E kísérletsorozatban arra kerestem a választ, hogy miként befolyásolja az enzimkezelés hatékonyságát a mTG adagolásának időzítése. Az y tengelyen szereplő „Enzimadagolás a kultúrázashoz képest” név alatt a kultúra adagolása után eltelt időt értem. A 21. táblázat ennek megfelelően a túró és a savó szárazanyag tartalmának változását mutatja az enzimadagolás időzítésének függvényében.

21. táblázat Az enzimadagolás időzítésének hatása a kontroll és enzimkezelt rögös túró és túrósavó száraz anyag tartalmára és kihozatalára

Enzimadagolásának időzítése	Szárazanyag (%)		Kihozatal (kg/10 l tej)
	Késztermék	Savó	
(perc)			
Kontroll	25,96±0,04	6,52±0,07	1,72±0,04
0	25,07±0,15	6,34±0,05	1,93±0,05
15	26,41±0,19	6,26±0,06	1,74±0,05
60	28,42±0,18	6,10±0,04	1,60±0,06

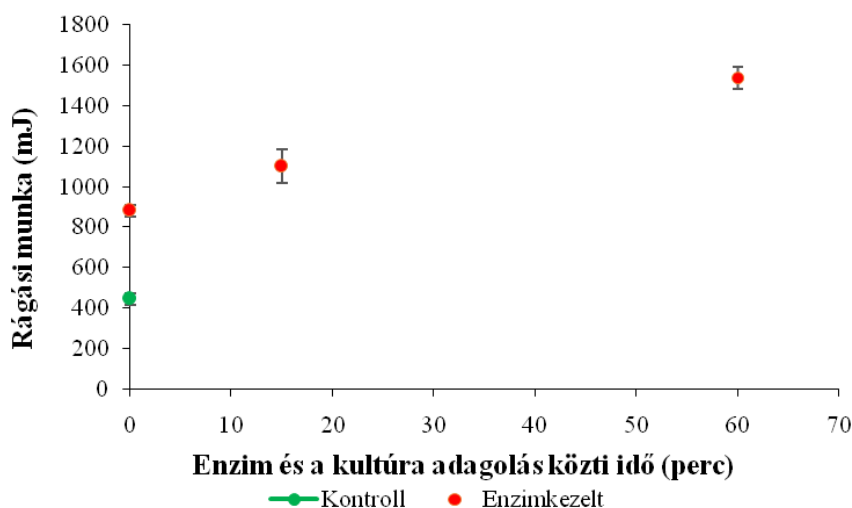
A 21. táblázat tanúsága szerint a túró szárazanyag-tartalmát befolyásolta az enzim adagolásának időzítése. Minnél később került az enzim a beoltáshoz képest a túrótejbe, annál magasabb lett a savóból a túróba beépült szárazanyag tartalom és ennek megfelelően csökkent a kihozatal. A savó szárazanyag tartalma is ennek megfelelően alakult, azaz a kontrollhoz képest az enzimkezelt túrók savójának 95%-os megbízhatósági szinten szignifikánsan alacsonyabb szárazanyag tartalma volt. A 22. táblázatban az enzimadagolás időzítésének kihozatalra gyakorolt hatását mutatom be figyelembe véve az Élelmiszerkönyv korábban említett előírását.

22. táblázat Az enzim időzítésének hatása a kontroll és enzimkezelt rögös túró kihozatalára azonos (25%) szárazanyag-tartalomra számolva

Enzimadagolásának időzítése	Kihozatal 25% sza.	mTG hatása (25% sza.-nál)
(perc)	(kg/10 l tej)	(%)
Kontroll	1,66±0,04	-
0	1,92±0,05	13,59
15	1,65±0,05	0,68
60	1,41±0,06	1,54

A 22. táblázat alapján egyértelműen megállapítható, hogy a kultúrával egyidőben történt enzimadagolás esetén 14%-kal javítható a túró kihozatala a kontrollhoz képest. Magától értetődő, hogy minél korábban került az mTG a 30 °C-os túrótejbe, annál jobban ki tudja fejteni a hatását és fontosnak tartom kiemelni, hogy szárazanyag-tartalom eredményeim alapján az enzim térhálósító és fehérje beépítő szerepe a kultúrázashoz képest idő függvénye is. Azaz megállapítható, hogy a kultúrával együtt adagolva a leghatásosabb az mTG. Erre a jelenségre nem találtam irodalmi forrást.

A következő, 41. ábrán az enzimadagolás időzítése és a rágási munka (2.6.4.3.4. fejezet) közötti összefüggést látható.

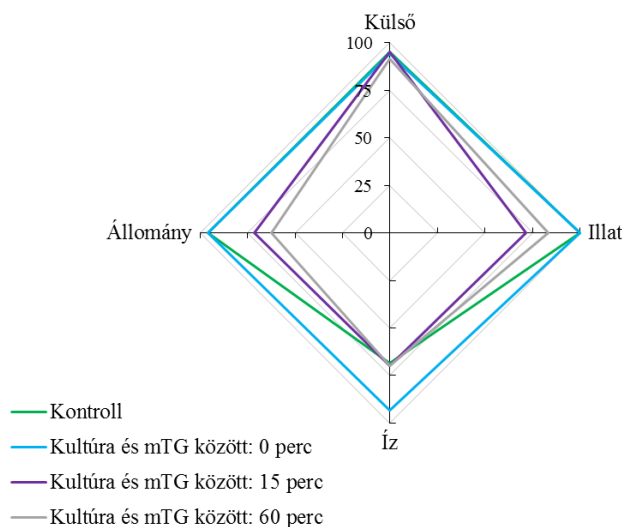


41. ábra Az enzimadagolás időzítésének hatása a rögös állományú kontroll és enzimkezelt túrónál mért rágási munkára

A 41. ábra alapján megállapítható, hogy a kihozatalhoz hasonlóan a rágási munka is 95%-os megbízhatósági szinten szignifikánsan megemelkedik az enzimkezelés hatására, és ezen túlmenően az enzimadagolás időzítésének is befolyásoló hatása van. Amennyiben az enzimet a kultúra után 60 perccel adagoltam az olyan hatást váltott ki, mintha 0,04 U/g fehérjéről 0,12 U/g

fehérjére emeltem volna az enzim koncentrációt (41. ábra). Ez a szárazanyag-tartalom növekedés és az mTG enzim együttes hatása lehet.

Ezek után érzékszervi bírálatot szerveztem annak eldöntésére, hogy ez az állományváltozás elfogadhatónak tekinthető-e a termékismerettel rendelkező bírálók számára. Az értékelést a 42. ábrán mutatom be.



42. ábra Az enzimadagolás időzítésének hatása a rögös állományú túró érzékszervi jellemzőire TG HNF enzimekészítmény esetén.

A 42. ábra alapján elmondható, hogy a bírálók élesen meg tudták különböztetni egymástól a kontroll és az enzimkezelt túrókat az ízük alapján. Megfigyelhető, hogy a 15 perces és 60 perces mintáknál tapasztalt állományváltozást már nem fogadták el. A megjegyzések alapján kiderült, hogy az alacsonyabb pontszámokat a már gumissá vált alvadékrögök váltották ki.

Szeretném azonban kiemelni, hogy a kultúrával együtt történő enzimkezelés esetén még a kontrollnál is magasabb összpontszámot kapott a termék, amit a magas íz pontszám eredményezett. Mivel ez esetben a szárazanyag tartalom és a kihozatal mind megfelelő volt, ezért ezt az időzítést javasoltam a nagyüzemi kísérletekhez. Ez a gyakorlat számára igen értékes eredmény.

3.3. Az enzimkezelés hatása oltós alvasztású tejtermékek esetén

Az oltós alvasztású tejtermékek közül legtöbbször a félkemény trappista sajtból gyártanak Magyarországon. E nevet hazánkban mindenki ismeri és üzemmérettől függetlenül alapsajtnak tekinthető. Ennek következménye, hogy ipari megkeresésre sok kutatás, termékfejlesztés tárgya volt. Hazánkban már 1940-es évek végén (CSISZAR 1949) vizsgálták a trappista sajt állomány jellemzőit, később a Szegedi Egyetemen (BARA-HERCZEGH et al. 2001; BARA-HERCZEGH

2002) és a Budapesti Corvinus Egyetemen (KONCZ et al. 2006) valamint Szerbiában (VUJIČIĆ és VUJIČIĆ 1979) folytak kutatások. Eredményeik alapján elmondható, hogy a trappista sajt átlagos keménysége 10-20 N. Szeretném kihangsúlyozni, hogy hazánkban a tejipari kutatási területen a trappista sajt volt az egyetlen, amelynél publikáltak transzglutaminázos kísérleteket (POLGÁR et al. 2010).

E kísérletsorozatban 3 fő tényezőt vizsgáltam. Elsősorban arra kerestem a választ, hogy melyik az ideális időpont az mTG adagolására a késztermék állomány-, érzékszervi jellemzői és kihozatala szempontjából. Másrészt vizsgáltam, hogy mennyire befolyásolja a sajttej zsírtartalma az enzim hatékonyságát. Továbbá tárolási kísérlet során követtem nyomon, hogy miként változik meg a sajt érése alacsony zsírtartalmú termék esetén.

3.3.1. Az enzimadagolás időzítésének szerepe a késztermék minőségében

A 23. táblázat az enzimadagolás időzítésének a sajt és savó szárazanyag tartalmára gyakorolt hatását mutatom be.

23. táblázat Az enzimadagolás időzítésének hatása a kontroll és enzimkezelt trappista sajt és sajtsavó szárazanyag-tartalmára

Enzimadagolásának időzítése	Sajt szárazanyag-tartalma	Sajtsavó szárazanyag-tartalma
(perc)	(%)	(%)
Kontroll	57,44±0.50	6,51±0.03
0	61,13±0.78	6,15±0.06
20	59,06±0.66	6,28±0.05
30	58,93±0.95	6,32±0.05
35	56,82±0.50	6,47±0.06

A 23. táblázat alapján elmondható, hogy az enzimkezelés hatására egyértelműen megemelkedett a sajtok szárazanyag tartalma és ezzel együtt lecsökkent a savójuké.

A következő két ábrán az enzimkezelés kihozatal befolyásoló hatását szeretném szemléltetni. A 43. ábrán szemmel látható különbséget, a 24. táblázatban a mért értékeket számszerűen mutatom be.



43. ábra Az enzimadagolás időzítésének hatása a kontroll (bal) és enzimkezelt (középső: 20 perccel a kultúra után, jobb: 0 perc, azaz a kultúrával együtt) trappista sajt kihozatalára

A Magyar Élelmiszerkönyv 2-104.számú irányelve a „Megkülönböztető minőségi jelöléssel ellátott tejtermékek”-ről zsíros kategóriájú trappista sajt esetén $58,0\% \pm 2,5$ szárazanyag-tartalmat ír elő, így a következőkben erre az értékre kiszámított kihozatal eredményeket is bemutatom a 24. táblázatban.

24. táblázat Az enzimadagolás időzítésének hatása a kontroll és enzimkezelt trappista sajt kihozatalára

Enzimadagolásának időzítése	Kihozatal	Kihozatal 58% sza.	mTG hatása (58% sza.-nál)
(perc)	(kg / 10 l tej)	(kg / 10 l tej)	(%)
Kontroll	1,15±0,03	1,16±0,03	-
0	1,37±0,06	1,30±0,06	10,73
20	1,19±0,05	1,17±0,05	1,24
30	1,15±0,05	1,13±0,05	-2,15
35	1,12±0,06	1,14±0,06	-1,12

Mindkét megjelenítés alapján egyértelmű, hogy az mTG alkalmazásának megfelelő időzítése áttörést jelenthet a sajt kihozatal növekedés tekintetében. Általánosan ismert, hogy az mTG 5-7%-kal javítja a kihozalt sajtok esetén, kísérleteim során viszont ennél nagyobb akár 11%-os kihozatal növekedést tapasztaltam laboratóriumi körülmények között. A legjobb kihozatal növekedést akkor értem el, amikor az enzimet a kultúrázással egyszerre adtam a sajttejhez. A kapott eredmény miatt témavezetőimmel és az akkori tanszékvezetővel szabadalmi bejelentést is tettem (P1300706: Eljárás savófehérje visszatartásával történő sajt előállítására a fehérje tartalom növelése céljából).

Az állománymérések során a tudományos irodalomban, sajtokkal kapcsolatban, szinte kizárólag csak a keménységre vonatkozó eredményeket mutatják be (COZZOLINO et al. 2003, WALEED és NAWAL 2009, DI PIERRO et al. 2010), ezért én törekedtem arra is, hogy más, a termék megítélése szempontjából fontos tulajdonságokat is megvizsgáljam, így a rugalmasságot és a rághatóságot is (2.6.4.3.3. fejezet). Ezen túlmenően vizsgáltam a sajt külső és belső részét is.

Minden mérést 4 hétig érlelt sajtokon végeztem el. Az ábrák jelölésében az üres karika ezúttal a kontrollt, a telt pedig az enzimkezeltet jelzi.

A 44. ábrán elsőként a sajt keménységének változását ismertetem az mTG adagolásának időzítésének függvényében.



44. ábra Az enzimadagolás időzítésének hatása a kontroll és enzimkezelt trappista sajt keménységére 4 hetes érlelést követően

A 44. ábrán látható eredményeim alapján szignifikáns különbség van a sajt külső és belső keménysége között. A 4 hetes érlelés hatására a sajt belső része az enzimkezeléstől függetlenül 14-22%-kal volt puhább a sajt külsejénél. Az 45. ábra alapján az is megállapítható, hogy minél később került az enzim a sajttejbe, annál keményebbé vált a késztermék, az enzimkezelés hatása szignifikáns volt a külső és a belső keménységre egyaránt. Mindazonáltal az enzimkezelések között szignifikáns különbséget csak a 0-20. perc, 0-30. perc, 0-35. perc között tapasztaltam (M3. melléklet). A 45. ábrán a sajt rugalmasságának alakulását mutatom be az enzimadagolásának időzítése szempontjából.



45. ábra Az enzimadagolás időzítésének hatása a kontroll és enzimkezelt trappista sajt rugalmasságára 4 hetes érlelést követően

A 45. ábra alapján megfigyelhető, hogy a sajtok a kultúrával egyidejű enzimkezelés hatására majdnem kétszer olyan rugalmassá váltak, mint a kontroll. Másfelől viszont ez esetben a kontroll

és enzimkezelt sajtok külső és a belső rugalmassága között nem volt különbség (46. ábrán egymást fedik az értékek). Megállapítottam, hogy amennyiben az enzimet a sajt kultúrához képest 30 illetve 35 perccel később tettem a sajttejhez, akkor az így készült enzimkezelt sajtok külső és belső rugalmassága szignifikánsan magasabb lett a korábbi (kultúrával egyidejű, 0 perc) enzimekezéssel készült sajthoz képest (M3. melléklet).

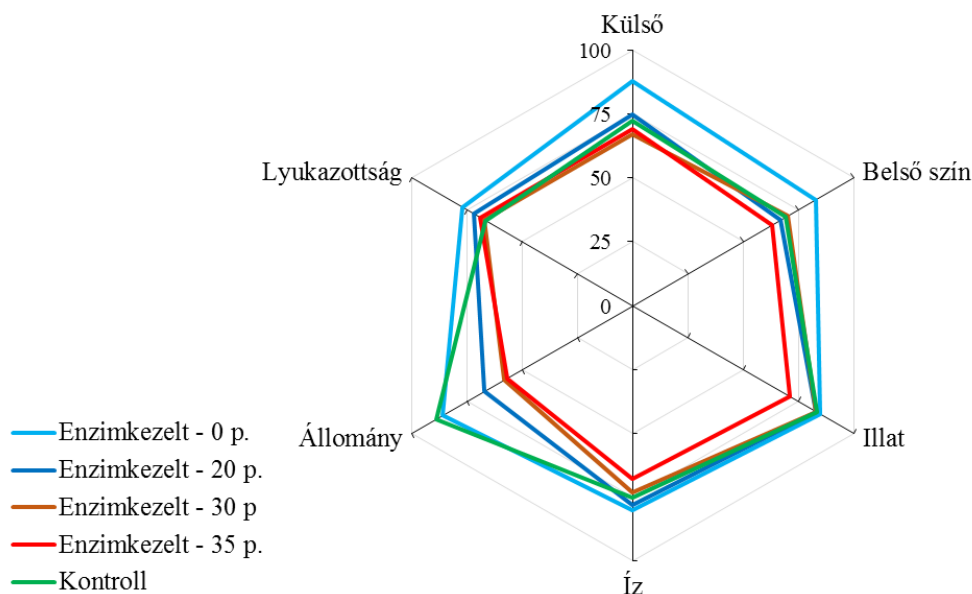
A következő vizsgált állományjellemző a rághatóság (46. ábra), mely a keménységből, a kohézióból és a rugalmasságból számított érték. Itt jegyzem meg, hogy a túrónál Kramer cellával mért rágási munka értékek nem hasonlíthatók össze a sajt nál TPA módszerrel mért rághatósággal. Ennek oka a mérési módszer eltérésén túl, a vizsgált anyag mennyiségének eltéréséből is fakad (2.6.5.3.3.: TPA módszer, 2..6.5.3.4.: Kramer-féle nyírócella, más, eltérő vizsgált anyagmennyiség).



46. ábra Az enzimadagolás időzítésének hatása a kontroll és enzimekezelt trappista sajt rághatóságára 4 hetes érlelést követően

A 46. ábra alapján elmondható, hogy az enzimekezés hatására a termék rághatóságának értéke legalább 80%-kal magasabb a kontroll termékhez képest a minta külső és belső részén egyaránt. Megállapítottam viszont, hogy a kultúra után 20-35 perccel enzimekezelt sajtok esetén a sajt külső része a belső részéhez képest 28%-kal rágósabbá vált.

Az mTG által kiváltott állományváltozás megfelelőségének megítélésére ismét érzékszervi bírálatot hívtam össze, melynek eredményét az alábbi sugárdiagramon mutatom be (47. ábra).



47. ábra Az enzimidagolás időztésének hatása a kontroll és enzimkezelt trappista sajt érzékszervi jellemzőire 4 hetes érlelést követően

Az érzékszervi bírálat eredményei alapján az állomány tekintetében a bírálók az enzimkezelt sajtok közül csak a kultúrával egyszerre enzimkezelt sajtot értékelték a kontrollhoz mérten is magas pontszámmal, azaz megfelelőnek. Ennek elsősorban a keménység különbség volt az oka, mert a többi terméknél az értékek a kontrollhoz viszonyítva 35-44%-kal magasabbak voltak. Az egyszerre kultúrázott enzimkezelt sajt az állományon túlmenően a külső, a belső szín és a lyukazottság alapján még a kontrollnál is magasabb pontszámokat kapott.

Összességében elmondható, hogy az enzimkezelés időztésének döntő szerepe van a sajt szárazanyag tartalma, kihozatala és érzékszervi jellemzői szempontjából és eredményeim alapján egyértelművé vált, hogy az enzim alkalmazása a kultúrával egy időben alkalmazva adja a legjobb minőséget. További kísérleteimben már ezt az időztést alkalmaztam.

3.3.2. Az enzimkezelés és a sajttej zsírtartalmának hatása a sajt minőségi jellemzőire

Ebben a kísérletsorozatban azt vizsgáltam, hogy miként hat a kiinduló sajttej zsírtartalma az mTG kihozatal növelő és állományjavító hatására, valamint hogy befolyásolja a zsírtartalom az érzékszervi megítélést. A kísérleti sajtok és savójuk összes mért jellemzőit így a szárazanyag tartalmat, a zsírtartalmat, a fehérjetartalmat a 25. táblázat mutatja.

25. táblázat A trappista sajt minőségi jellemzői a kiinduló sajttej zsírtartalmának és az enzimezésnek a függvényében (K = Kontroll, E= Enzimkezelt)

Zsírtartalom	Sajttej Enzimkezelés	Zsír a szárazanyag tartalomban, Zs/Sza (%)		Fehérjetartalom (%)	
		Sajt	Savó	Sajt	Savó
2,2%	Kontroll	35,29±0,18	2,37±0,10	27,54±0,07	0,71±0,01
	Enzimkezelt	35,24±0,17	2,45±0,13	30,54±0,09	0,54±0,02
2,8%	Kontroll	34,48±0,25	6,16±0,11	25,56±0,10	0,10±0,01
	Enzimkezelt	36,15±0,39	4,96±,12	30,27±0,11	0,85±0,01
3,2%	Kontroll	28,74±0,17	5,22±0,18	24,33±0,08	0,71±0,01
	Enzimkezelt	39,37±0,15	1,94±0,14	28,97±0,07	0,58±0,02
3,5%	Kontroll	30,62±0,43	4,88±0,12	23,62±0,09	0,70±0,01
	Enzimkezelt	42,19±0,27	1,80±0,16	27,14±0,12	0,59±0,02
5,0%	Kontroll	34,86±0,27	7,59±0,18	21,57±0,08	0,72±0,02
	Enzimkezelt	43,90±0,30	4,84±0,16	25,98±0,07	0,73±0,01

A 25. táblázat eredményei alapján egyértelműen megállapítható, hogy az enzimezés hatására a sajtok és a sajtsavók relatív zsírtartalma (értsd Zs/Sza) és fehérjetartalma a sajttej zsírtartalmától függetlenül mindig nagyobb, mint a kontroll terméké. Ez azt mutatja, hogy az enzim által létrehozott polimerizált fehérjemakromolekulák a zsírt és a fehérjét is maguk közé zárják. A 26. táblázat a sajttej zsírtartalma és az enzimezés, kihozatalra kifejtett hatását mutatom be.

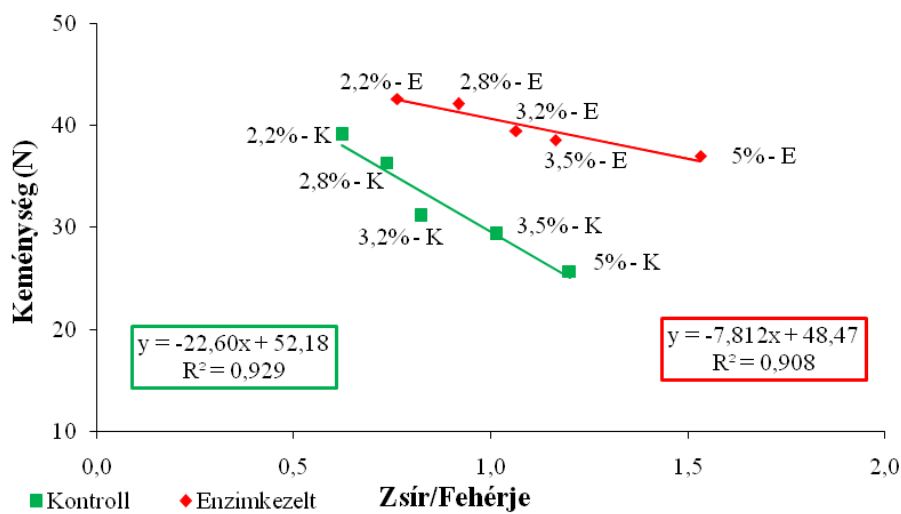
26. táblázat A kiindulási sajttej zsírtartalmának hatása a kontroll és enzimezelt trappista sajt kihozatalára

Zsírtartalom	Sajttej Enzimkezelés	Kihozatal (kg / 10 l tej)	Kihozatal 58% sza. (kg / 10 l tej)	mTG hatása (58% sza.- nál)
				(%)
2,2%	Kontroll	1,08±0,07	1,13±0,07	11
	Enzimkezelt	1,24±0,04	1,27±0,04	
2,8%	Kontroll	1,05±0,06	1,09±0,06	18
	Enzimkezelt	1,36±0,08	1,33±0,08	
3,2%	Kontroll	1,18±0,04	1,20±0,04	-1
	Enzimkezelt	1,22±0,06	1,18±0,06	
3,5%	Kontroll	1,33±0,05	1,33±0,05	-4
	Enzimkezelt	1,36±0,04	1,28±0,04	
5,0%	Kontroll	1,44±0,04	1,36±0,04	-3
	Enzimkezelt	1,45±0,04	1,31±0,04	

A 26. táblázat alapján megállapítható, hogy a 2,2 - 2,8% zsírtartalmú tejből készült sajtok esetén az enzimezés 10%-nál magasabb kihozatal növekedést eredményezett, de ezt követően a zsírtartalom emelkedés tompítja az enzim hatását. A trappista sajtok hazai gyártási

gyakorlatban 2,8-3,0%-os sajttejből készülnek, azaz pont abban a zsírtartalom tartományban, amelyben az enzim akár 18%-os kihozatal emelkedést is előidézhet.

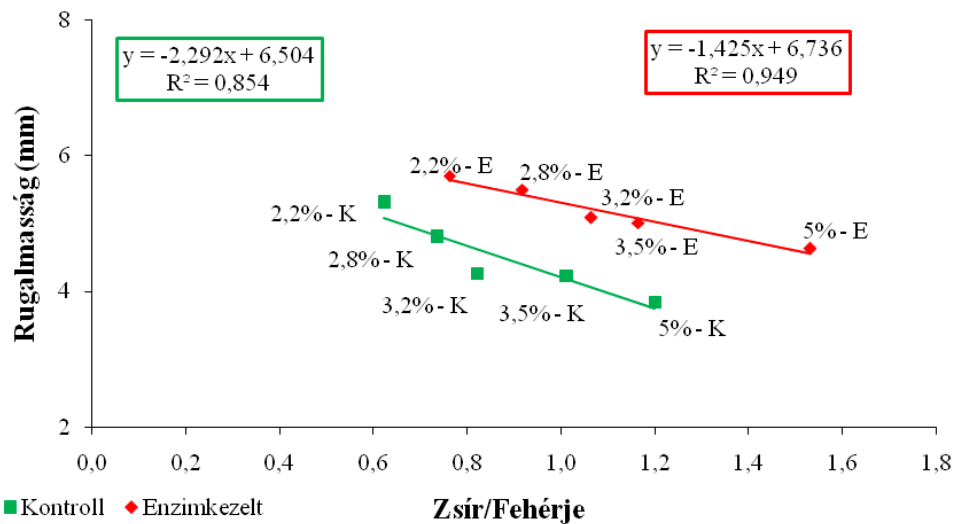
A következő ábrákon az állományérés (2.6.4.3.3. fejezet) eredményeit mutatom be a sajt zsír/fehérje arányának függvényében. Ennek oka, hogy úgy ítélem meg a zsírtartalom és a termék puhasága/lágysága közti összefüggés magától értetődő, ahogy a fehérjetartalom emelésével keményebbé váló állomány is, de a zsír/fehérje arány állományra kifejtett hatását sajtok esetén még tudomásom szerint nem vizsgálták. A következő ábrákon az x tengely nem az origóból indul, hogy a vizsgált fehérje koncentráció tartomány eredményei jobban láthatóak legyenek. A 49. ábrán ennek megfelelően a keménységet mutatom be a zsír/fehérje arány függvényében.



49. ábra A kontroll és enzimkezelt trappista sajt keménysége és zsír/fehérje aránya közötti összefüggés 4 hetes érlelést követően

A 49. ábra alapján elmondható, hogy minnél nagyobb a zsír részaránya a sajtban a fehérjéhez képest annál inkább csökken a sajt keménysége (lásd: kontroll), mégis e hatást az enzimkezelés enyhítette. A statisztikai elemzés kimutatta, hogy a kiinduló sajttej zsírtartalmától függetlenül szignifikánsan magasabb a sajtok keménysége enzimkezelés esetén (M3. melléklet)

Az 50. ábrán a rugalmasság és a zsír/fehérje arány közötti összefüggést szeretném bemutatni. Ezen az ábrán szemléltetem, hogy a kísérleti sajtok zsír hányadának emelkedésével és fehérje hányadának csökkenésével a termék veszített rugalmasságából az enzimkezeléstől függetlenül (mindkét egyenes meredeksége, $0,2 < a < 0,25$).

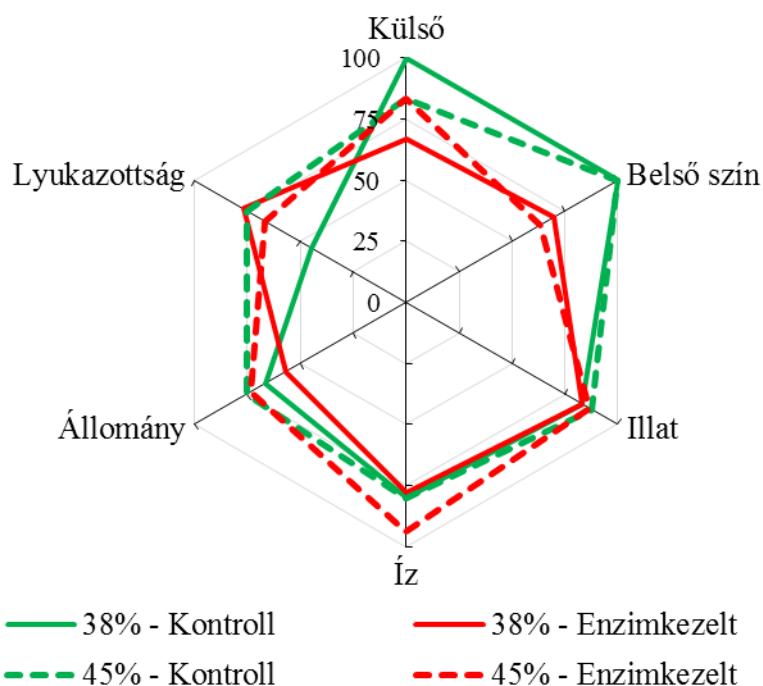


50. ábra A kontroll és enzimkezelt trappista sajt rugalmassága és zsír/fehérje aránya közötti összefüggés 4 hetes érlelést követően

Ez azt is jelenti, hogy a fehérje rugalmasságnövelő hatását a zsír erősen tompítja. A statisztikai vizsgálat alapján elmondható, hogy a 2,2% zsírtartalmú tejből készült kontroll sajtok rugalmassága szignifikánsan magasabb volt a magasabb zsírtartalmú tejből készült mintákhoz képest. Valamint kiemelném, hogy az enzimkezelés hatása a rugalmasságra, a keménységhez hasonlóan, a zsírtartalomtól függetlenül, szignifikáns javulást idézett elő a késztermékben (M3. melléklet).

Azonban fontosnak tartom megjegyezni, hogy a rugalmasság olyan tartományban változott (3,85-5,71 mm), amely szubjektív módon nem észlelhető. Az állománymérések után érzékszervi bírálatot rendeztem annak megítélésére, hogy a relatív zsírtartalomnak (51. ábra) milyen hatása van önmagában és az enzimkezeléssel együtt az érzékszervi jellemzőkre. Bár 5 különböző zsírtartalmú kísérleti tejet használtam a sajtgyártáshoz, csak 2 egymással megfeleltethető relatív zsírtartalmú sajt keletkezett, ezért ezek érzékszervi megítélésének eredményét ismertetem (51. ábra).

Zs/Sza tartalom alapján



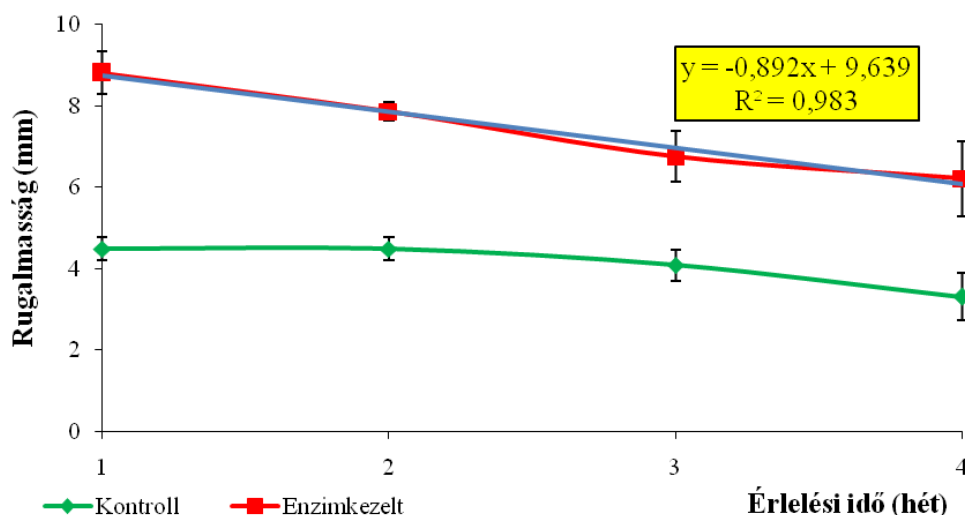
51. ábra A különböző zsír a szárazanyagban (Zs/Sza) tartalmú kontroll és enzimekelt sajtok 4 hetes érlelést követően

Az 51. ábra alapján megállapítható, hogy a 38% relatív zsírtartalmú sajtok esetén az enzimekeltetés 95%-os megbízhatósági szinten szignifikánsan hatott a lyukazottság és a belső szín megítélésére. A 38% relatív zsírtartalmú enzimekelt sajtoknál ugyanis a bírálók 42%-kal magasabb pontszámot adtak az mTG-vel készült sajtoknak. A lyukazottság az érés előrehaladásának jele, azaz véleményem szerint az mTG hatására beépült többlet fehérje és zsír a sajtok érésének felgyorsulásához vezetett. Erre vonatkozó összehasonlítási alapként szolgáló tudományos irodalmat nem találtam. A 45% relatív zsírtartalmú sajtok érzékszervi bírálatokor az enzimekeltetés hatására 95%-os megbízhatósági szinten szignifikánsan jobbnak ítélték meg a bírálók a sajtok belső színét és ízét. Az enzimekelt sajt ízét 15%-kal jobbnak ítélték. WALEED és NAWAL (2009) 1 hetes lágú sajt (Kontroll: Zs/Sza: 39%, Enzimekelt: Zs/Sza: 48%) érzékszervi bírálatánál hozzám hasonlóan magasabb pontszámokat kapott enzimekelt sajt íze a kontrollhoz képest.

E témába vágó állománymérési eredményeimet a disszertációban hely hiány miatt nem szereplő hiperspektrális mérésekkel együtt a Journal of Food Engineering impakt faktoros folyóiratban publikáltam a Fizika- és Automatika Tanszékkal közösen.

3.3.3. Tárolási kísérlet félzsíros trappista sajt esetén

Ebben a kísérletsorozatban a 2,2% tejből készült (Zs/Sza_{Kontroll} : 37,81%, $Zs/Sza_{\text{Enzimkezelt}}$: 33,60%) sajtok érési folyamatait az állományváltozáson keresztül követtem nyomon (2.6.4.3.3. fejezet). A kísérleti célom az volt, hogy megállapítsam, hogy félzsíros termék esetén, hogy fejti ki az enzim az állománymódosító hatását. Az 52. ábra a rugalmasság változását mutatja be a kontroll és az enzimkezelt sajt érlelése alatt.

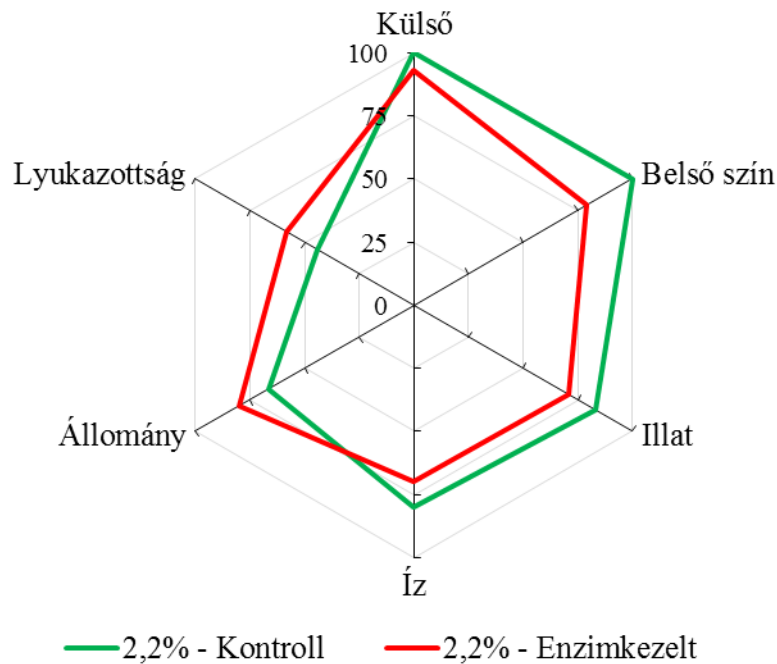


52. ábra A 2,2% zsírtartalmú tejből készült kontroll és enzimkezelt trappista sajt rugalmasságának változása a 4 hetes érlelés alatt

Az 52. ábra alapján megállapítható, hogy a kontroll minta esetén a rugalmasság kissé, nem szignifikáns mértékben csökkent az érlelés alatt. Az enzimkezelés hatására azonban szignifikánsan magasabb volt a sajtok rugalmassága és ez a 40-50% -os különbség az érlelés végéig megmaradt. Az enzimkezelt sajtok rugalmassága lineárisan csökkent és ez a tendencia szignifikáns volt az érlelési idő 1-3. hetében (lásd: 147. oldal, statisztikai eredmények). Az enzimkezelt mintánál a rugalmasság csökkenésének tendenciája közel lineáris volt, vagyis hétről hétre azonos sebességgel változott (2. hétre: 11%-kal, 3. hétre: 14%-kal, 4. hétre: 8%-kal csökken). Az enzimkezelés az érlelés 3. hetéig szignifikánsan javította a sajtok rugalmasságát (M3. melléklet). A rághatóság nem változott az érlelés alatt sem a kontroll, sem az enzimkezelt sajtok esetén. Ugyanakkor az enzimkezelés által kiváltott különbség az érlelési idő végéig 77-83%-kal volt magasabb a kontrollnál.

Az 53. ábrán a 2,2% tejből készült kontroll és enzimkezelt sajtok érzékszervi bírálatának eredményét mutatom be.

Zs/Sza : **K:** 37,81%, **E:** 33,60%
 Fehérje: **K:** 27,54%, **E:** 30,54%



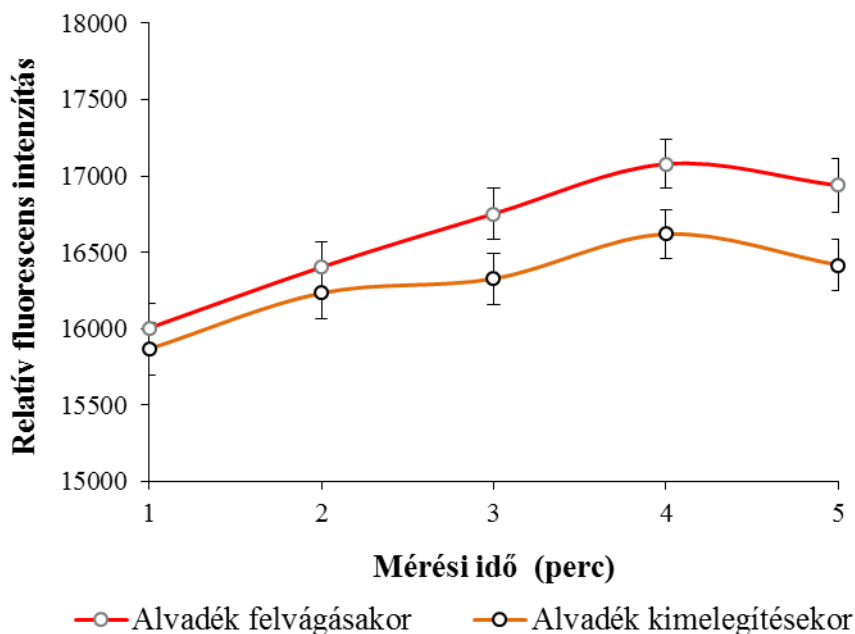
53. ábra A 2,2% sajttejből készült kontroll és enzimkezelt sajtok érzékszervi tulajdonságai 4 hetes érlelést követően

Az 53. ábra alapján elmondható, hogy a 4 hetes érlelést követően az állomány és a lyukazottság tekintetében jelentett előrelépést az enzimkezelés, amit alátámaszt, hogy az állományra közvetlenül ható fehérjetartalom 3%-kal magasabb volt a sajtban az mTG hatására. Mindazonáltal a többi érzékszervi jellemző tekintetében a kontroll minta bizonyult jobbnak, ami elsősorban a 4%-kal magasabb relatív zsírtartalomnak tulajdonítható.

3.3.4. Enzimaktivitás meghatározása félzsíros trappista sajt esetén

Ebben a kísérletsorozatban az volt az eredeti célkitűzésem, hogy megállapítsam mérhető-e közvetlenül a tejtermékből az mTG aktivitása. A kísérleteket joghurt és sajt mintákon is elvégeztem Darmstadtban, de csak utóbbi esetén találtam olyan módszert, mely valóban megbízható volt. Ennek megfelelően ebben a fejezetben a 2,2% tejből készült sajt fluorescens módszerrel elvégzett enzimaktivitás mérésének eredményeit mutatom be.

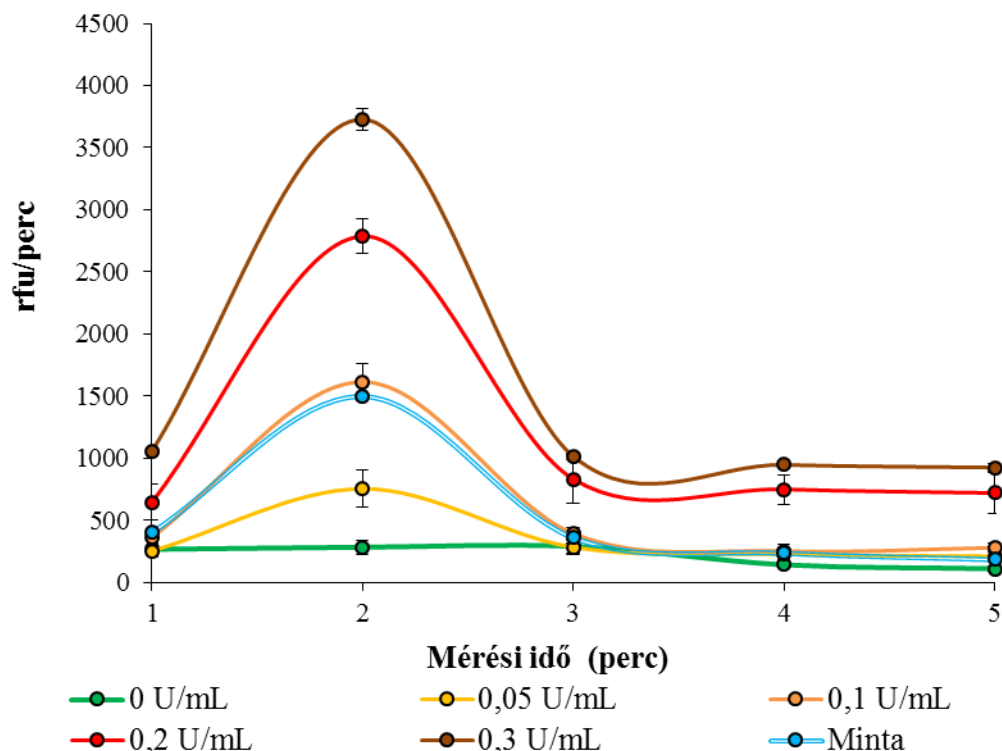
Az 54. ábrán a relatív fluorescens intenzitásváltozást mutatom be az enzimkezelt alvadék felvágásakor és kimelegítésekor vett minták esetén.



54. ábra A relatív fluoreszcens intenzitás változása a különböző időpontokban (alvadék felvágásakor, alvadék kimelegítésekor) vett sajtmintákban a fluoreszcens mérés alatt

A mintákban mért relatív fluoreszcens intenzitás az mTG keresztkötő aktivitásának függvénye, mivel a fluoreszcens festékként használt, danzilált ZQG-DNS specifikusan csak az mTG-vel reagál. Ennek következtében csak az mTG aktivitása okozhat fluoreszcens jelszint emelkedést. Az 5 perces mérés során, a vizsgált minták rfu értéke 4 percen keresztül emelkedett. Ebből arra lehet következtetni, hogy a gyártás ezen időszakában még aktív az enzim, sőt arra is, hogy a mintában lévő szubsztrátok 4 perc alatt elfogytak. A legfontosabb mégis az, hogy ezáltal bebizonyosodott: az ipari gyakorlatban alkalmazott enzim koncentráció (40-65 U/g) elegendő ahhoz, hogy a mintában mérhető legyen az enzimaktivitás. A gyártás után 1 nappal, 1-4 héttel vett minták fluoreszcens jelintenzitása nem változott az 5 perces mérés alatt, azaz a mintának akkor már nem volt mérhető az enzimaktivitás.

Ezt követően belső standarddel kalibrációt végeztem annak érdekében, hogy az enzimaktivitás mennyiségi meghatározására is lehetőség legyen (55. ábra). Ehhez a kísérlethez az alvadék felvágásakor vett mintát használtam. Az 55. ábrán bemutatom, hogy az 5 perces mérés alatt milyen jelszint emelkedést vált ki 0 – 0,3 U/ml mTG aktivitás. Az 56. ábrán az alvadék felvágásakor vett saját sajt mintám eredményeit is feltüntettem.



55. ábra A relatív fluoreszcens intenzitás percenkénti változása a különböző enzim koncentráció (0 – 0,3 U/ml) a fluoreszcens mérés alatt

Az 55. ábra alapján megállapítható, hogy az mTG aktivitásának meghatározására leginkább alkalmas időpont 2 perc, mert a percenkénti jelintenzitás emelkedés ekkor volt a legnagyobb. Továbbá ekkor váltak el leginkább egymástól az egyes belső standardek így az enzimaktivitás mértékének meghatározására is ez a mérési pont a legalkalmasabb.

Összességében megállapítottam, hogy az enzimaktivitás közvetlenül is mérhető félzsíros sajt esetén gyártásközbeni mintavételkor. Továbbá azt is kimutattam, hogy az érlelés ideje alatt ezzel a módszerrel az mTG aktivitása már nem mutatható ki.

Az itt bemutatott eredmények a Journal of Fluorescence impakt faktoros folyóiratban fognak megjelenni 2017-ben (DARNAY 2017).

3.4. Nyers és hőkezelt vörösáru (frankfurti virsli) technofunkciós tulajdonságainak változása az mTG hatására

3.4.1. Az enzim koncentráció hatása a nyers és a hőkezelt termék technofunkciós tulajdonságaira

Az mTG enzim állománymódosító hatása a húspari termékek esetén is tudományosan elfogadott tény. A mikrobiális transzglutamináz enzimet ezért elsősorban a hagyományosan

alkalmazott állományjavítók és adalékanyagok részbeni vagy teljes kiváltására használják. A tudományos eredmények számos ipari alkalmazáshoz vezettek. Mindazonáltal a tudományos közlemények döntő többségében csak az enzimek gyártója által megadott módon és mennyiségben alkalmazták az mTG-t. Ezt figyelembe véve első kísérleteimben azt vizsgáltam, hogy az enzim koncentráció változtatásának milyen szerepe van hagyományos eljárással készült frankfurti virsli technofunkciós tulajdonságaira (szín, állomány, léeresztő képesség, avasodás, érzékszervi jellemzők). Az mTG állománymódosító szerepének megértése érdekében mind a nyers, mind a hőkezelt termék állományjellemzőit vizsgáltam. A kísérletek célja, hogy meghatározzam a szükséges és elégséges enzim koncentrációt frankfurti virsli esetén.

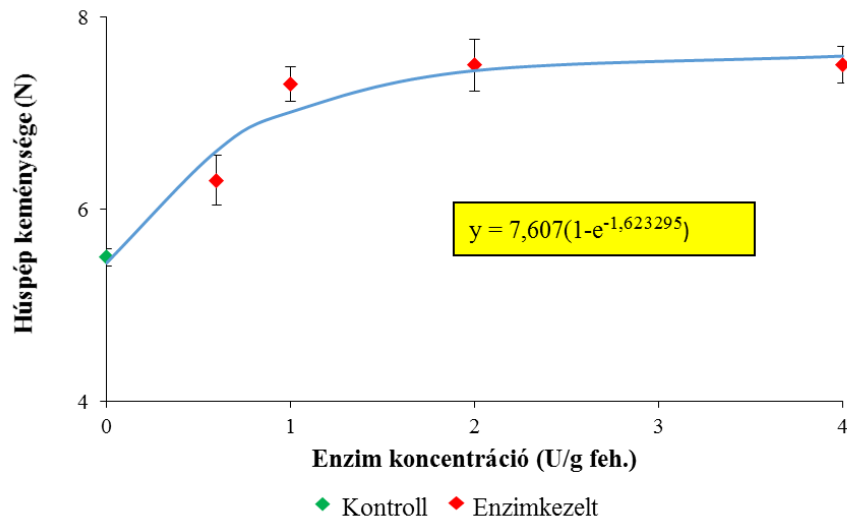
A tudományos irodalom áttekintése során nem találtam, olyan publikációt, amely ismertetné, hogy az mTG enzimadagolása hogyan hat nyers és abból készülő hőkezelt vörösáru esetén. Ebből következően az ezek közötti összefüggés vizsgálatára sem találtam példát. E kísérlet sorozatban a húspéphez hozzáadott pácso és foszfát mennyisége adott volt (0,4% és 1,8% a húsmasszára viszonyítva) követve az általánosan elterjedt húsipari gyakorlatot.

3.4.1.1. Az enzim koncentráció hatása a húspép állományára

A jó minőségű frankfurti virsli gyártástechnológiája szempontjából elengedhetetlen, hogy a felhasznált húspép állománya a töltéshez megfelelően legyen, azaz tömör, levegőtől mentes és stabil. A kezdeti kísérleti fázisban megfigyeltem, hogy az általános gyakorlatban megszokott 0,4-0,7% mTG-nél (AHMED et al. 2009, KAWAHARA et al. 2007, COLMENERO et al. 2005) magasabb (pl.: 2% mTG) enzim koncentráció esetén egy tömör massa keletkezik a kutterezés végére. Ez a húspép együtt forgott a késekkel, töltéskor nehezen tömörödött és a késztermékben légzárványok megjelenését okozta. Ez a jelenség felhívta a figyelmet arra, hogy az enzim koncentráció szerepének megértése már a gyártástechnológia elején, a kutterezéskor is, kulcsfontosságú.

A felhasznált darált sertéshús fehérjetartalma 18% volt, ezért ennek megfelelően számoltam ki a szükséges enzim mennyiséget.

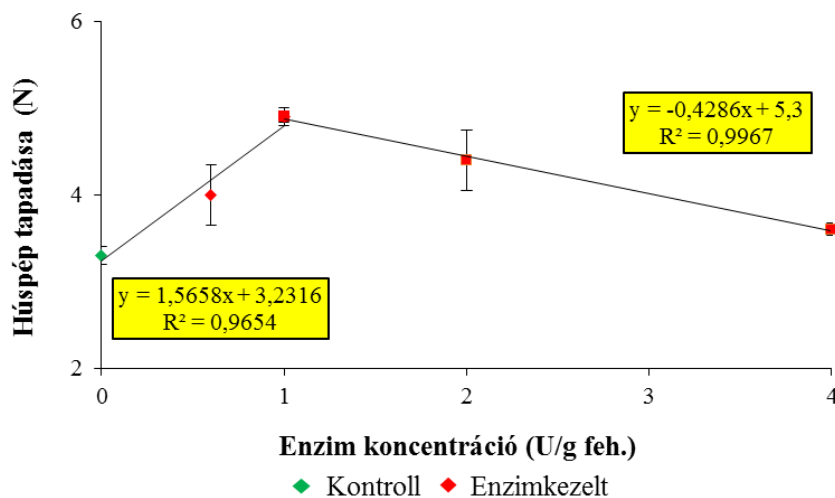
A húspép állományának vizsgálatát a keménység és a tapadás mérésén keresztül végeztem (2.6.4.3.2. fejezet). A massa keménységének ismerete azért fontos, hogy a megfelelőképpen fel lehessen készülni a pép bélbetöltésére. Amennyiben a húspép túl lágy, az a bélbe töltéskor elkenődéshez vezet, ha túl kemény, akkor a massa préselhetősége romlani fog, elkerülhetetlen a hézagos tömörödés, amely a késztermékben nagy valószínűséggel légzárványok megjelenéséhez fog vezetni, ami lyukacsossá teszi a bélzetet, ez pedig súlyos termékhiba. A húspép keménységének változását az enzim koncentráció függvényében az 56. ábra szemlélteti.



56. ábra A húspép keménységének változása az enzim koncentráció függvényében a kontroll és az enzimkezelt minták esetén

Az 56. ábra alapján megállapítható, hogy a húspép keménysége az enzim koncentrációval telítési görbe lefutását követve nő ($y=7,607(1-e^{-1,623295x})$), de 1,0 U/g fehérje enzim koncentráció felett már változatlan maradt. Ez azt jelenti, hogy az enzim-szubsztrát arány optimális szintjét 1 U/g fehérje adagolásnál már elértem, ebből fakadóan ennél magasabb enzim koncentráció esetén már kevés szubsztrát állt rendelkezésre ahhoz, hogy az mTG keresztköteket hozhasson létre. Azaz 1 U/g fehérje koncentráció felett az mTG már nem javítja tovább a húspép keménységét.

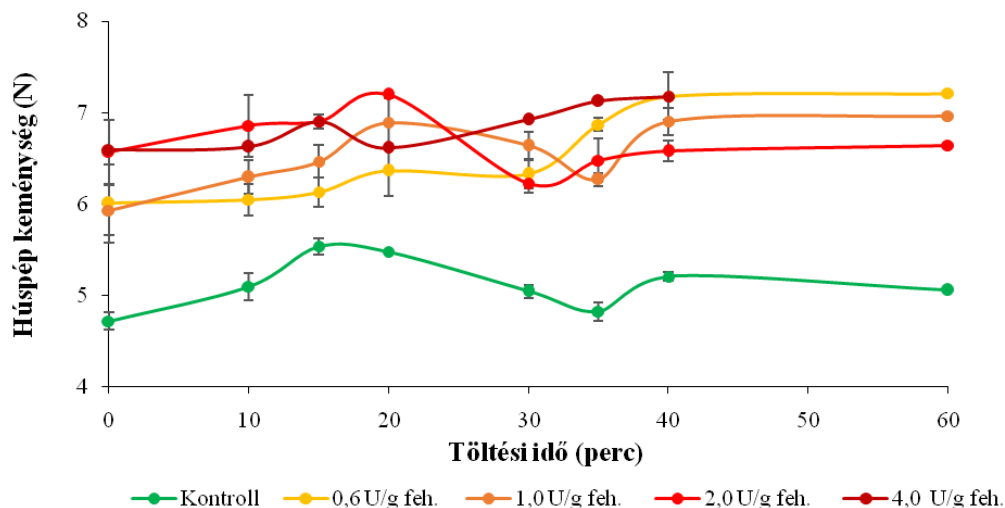
A massa tapadásának vizsgálata szintén a bélbetöltés miatt fontos. Ha a húspép jól tapad a bélhez, akkor ez hozzájárulhat a hőkezelt terméknel a bél és a metszslap egyben maradásához, valamint a homogén metszslaphoz. A pép tapadása és az alkalmazott enzim koncentráció kapcsolatát az 57. ábrán mutatom be.



57. ábra A húspép tapadásának változása az enzim koncentráció függvényében

Az 57. ábrán ugyanazt a tendenciát tapasztaltam, mint a húspép keménységének mérésekor, azaz a 0,6-1 U/ g fehérje enzimadagolás esetén lineáris korreláció volt a tapadás és az enzim koncentráció között ($R^2 > 0,96$). A legnagyobb tapadást 1 U/ g fehérje enzimadagolás esetén tapasztaltam. Ennél magasabb enzim koncentráció esetén a húspép tapadása már romlott, bár ez a hatás nem volt szignifikáns.

Állományméréskor azt tapasztaltam, hogy nemcsak az enzim koncentrációnak van szerepe, hanem a bélbe töltött húspép várakozási idejének is. A húspép főzéséig eltelt idő a gyártási gyakorlatban nagyon változó, de akár 1 óra is lehet, ezért fontosnak tartottam megvizsgálni, hogy ennyi idő alatt milyen állományváltozás játszódik le a húspépben. Az állomány kialakulásának ismeretében már meg lehet határozni a stabil minőséget biztosító töltési időpontot. Sőt, a töltési időn kívül az alkalmazott enzim koncentráció hatását is figyelembe vettem. Az 58. ábra mutatja be a húspép keménységének változását a töltési idő és az enzim koncentráció függvényében. A töltési idő alatt a bélbetöltött termék füstölés-főzés kezdetéig tartó állásidejét értem.



58. ábra A bélbetöltött húspép keménységének változása a kontroll és enzimkezelt húspép esetén

Az 58. ábra alapján megfigyelhető, hogy az enzimkezelés hatása a kontrollhoz képest 0,6-4 U/ g fehérje enzim koncentráció tartományban 99%-os megbízhatósági szinten szignifikáns. Továbbá az is látható, hogy ez a különbség a töltési idő végéig megmaradt. Megállapítható, hogy a kutterezést követő 60 percig a teljes vizsgált enzim koncentráció tartományban ingadozott a húspépek keménysége. Az enzim koncentráció emelésével a húspépek sokkal keményebbé váltak, de az egyes koncentrációk között nem volt szignifikáns különbség. Az állománykialakulás 40 perc alatt lezajlott és a húspépek 60 percig állandó keménységet mutattak.

Ez alapján minden további kísérletben törekedtem arra, hogy a töltést követően 60 percen belül elkezdjem a füstölés-főzést.

3.4.1.2. Az enzim koncentráció hatása a frankfurti virsli színére

A frankfurti virslik színvizsgálatára azért került sor, mert a termék eladhatósága szempontjából döntő tulajdonságáról van szó. Köztudott, hogy a vásárló a pultba tekintve elsősorban a látvány alapján dönti el, hogy melyik terméket választja. A következőkben az egyes színinger tényezők (L*: világossági tényező, a*: vörös színezet, b*: sárga színezet) eredményeit külön-külön is ismertettem, annak érdekében, hogy kiderüljön: esetenként melyik színtényező változása okozott már szemmel is látható színkülönbséget (27. táblázat).

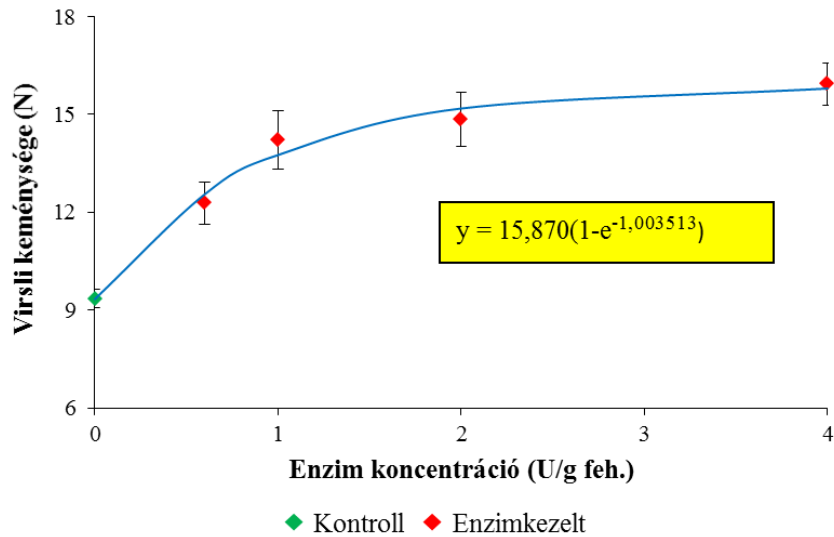
27. táblázat Az enzim koncentráció hatása a frankfurti virsli színére

Enzim koncentráció (U/g fehérje)	Világossági tényező L*	Vörös színezet a*	Sárga színezet b*
0,0	64,53±2,37	6,74±0,42	10,46±1,00
0,6	68,47±1,04	7,71±0,34	10,68±0,42
1,0	64,87±1,04	8,77±0,34	10,88±0,42
2,0	65,02±1,27	8,59±0,50	10,87±0,42
4,0	65,91±1,64	8,79±0,25	10,10±0,91

A 27. táblázat eredményei alapján az mTG koncentrációjának emelésével a virsli vörös színezetének értéke magasabb lett (64. ábra). A többi színtényezőt nem befolyásolta szignifikánsan az mTG adagolás a vizsgált enzim koncentráció tartományban.

3.4.1.3. Az enzim koncentráció hatása a frankfurti virsli állományára

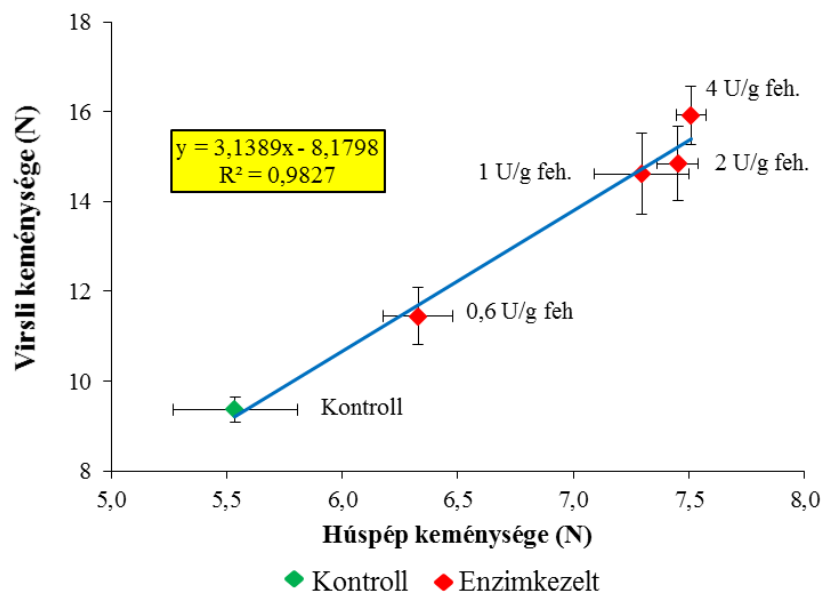
A frankfurti virsli keménységének vizsgálata (2.6.4.3.3. fejezet) azért fontos, mert előzetes feltételezésem szerint szerepet játszik a termék roppanóságában, amely az egyik legmeghatározóbb érzékszervi jellemző a virsli fogyasztói megítélésekor. Az enzim koncentráció keménységet befolyásoló hatását az 59. ábra szemlélteti. Az ábra alapján elmondható, hogy a vizsgált minták keménysége az enzim koncentráció függvényében telítési jellegű görbét adott. Ez az eredmény összhangban van KIELISZEK (2014) és KATAYAMA (2006) megállapításaival, akik szerint az mTG még a rosszabb minőségű hús esetén is megfelelő állományú hőkezelt vörösárut eredményezhet.



59. ábra A frankfurti virli keménységének változása az enzim koncentráció függvényében

3.4.1.4. A húspép és a frankfurti virli állománya közti összefüggés vizsgálat

Az enzimkezelés hatása tehát a nyers és a hőkezelt termék állományában egyaránt megmutatkozott, ezért kísérleti célkitűzésem lett, hogy megvizsgáljam: lehet-e a húspép állományából következtetni a késztermék állományjellemzőire? A húspép minősége hogyan befolyásolja a késztermék minőségét. Eredményemet a 60. ábrán mutatom be.

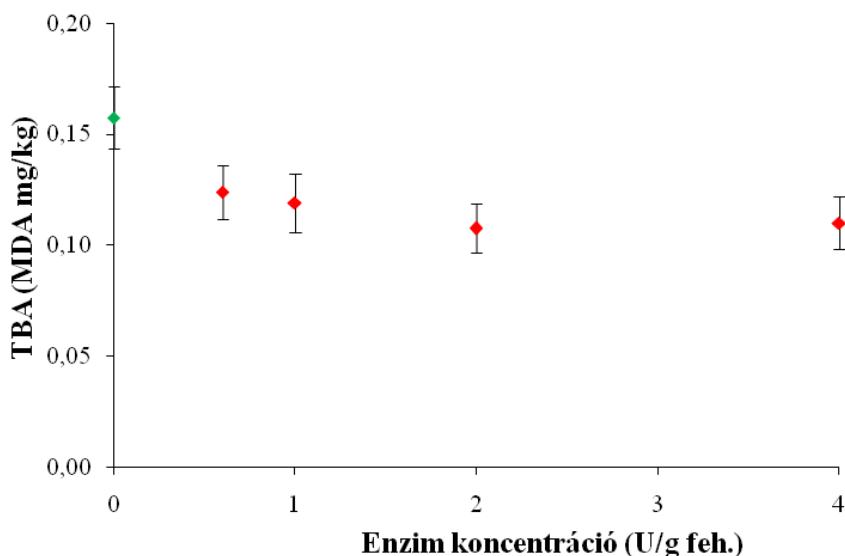


60. ábra A húspép és a belőle készült frankfurti virli keménysége közötti összefüggés az enzim koncentráció függvényében

Méréseim során szoros összefüggést ($R^2 > 0,98$) találtam a húspép és a virsli állományjellemzői között, így eredményeim alapján a virsli keménysége a húspép keménységéből nagy valószínűséggel jól becsülhető a vizsgált enzim koncentráció tartományban. Megállapítottam továbbá, hogy az enzimkezelés keménység növelő hatása a frankfurti virslinél nagyobb, mint a húspépnél, ami abból következik, hogy az mTG nyers és hőkezelt termékre kifejtett állományjavító hatása összeadódott.

3.4.1.5. Az enzim koncentráció hatása a frankfurti virsli a TBA-számára

A húsok és húskészítmények minőségét befolyásolja a zsírtartalmukból eredő oxidáció/avasodás, melynek bekövetkezési valószínűségéről a TBA-szám ad felvilágosítást. Az avasodást, másnéven a lipidek peroxidációját a telítetlen zsírsavak instabilitása váltja ki aktív oxigént tartalmazó rendszerekben. (ZSARNÓCZAY 2011) A kísérleti virslik gyártásakor leginkább a kutterezés során került oxigén a húspépbe, mivel a kuttert nem lehetett vákuum alá helyezni. Az mTG és az avasodás kapcsolatára korábban csak egy spanyol kutatásban tértek ki (DELGADO-PANDO et al. 2010), melyben megállapították, hogy a mikrobiális transzglutamináz enzim valószínűleg verseng egyes, az avasodás gátlásában szerepet játszó, antioxidáns hatású fehérjékkel és ezért Na-kazeinát szubsztrátum jelenlétében magas TBA-számot mértek. A TBA-szám változását az enzim koncentráció függvényében a 61. ábra szemlélteti.



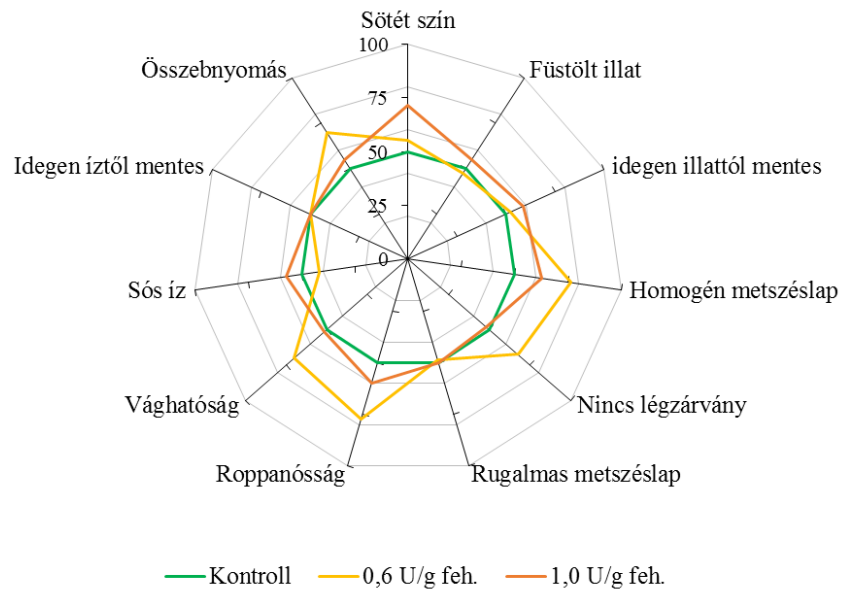
61. ábra A frankfurti virsli TBA-számának változása az enzim koncentráció függvényében

A 61. ábra alapján megállapítható, hogy az enzimkezelés 1-4 U/ g fehérje enzim koncentráció tartományban csökkenti a frankfurti virsli oxidációs készségét a TBA-szám alapján. Megállapítottam, hogy a legkisebb enzimadagolás esetén is 21%-kal csökkent a TBA-szám. A

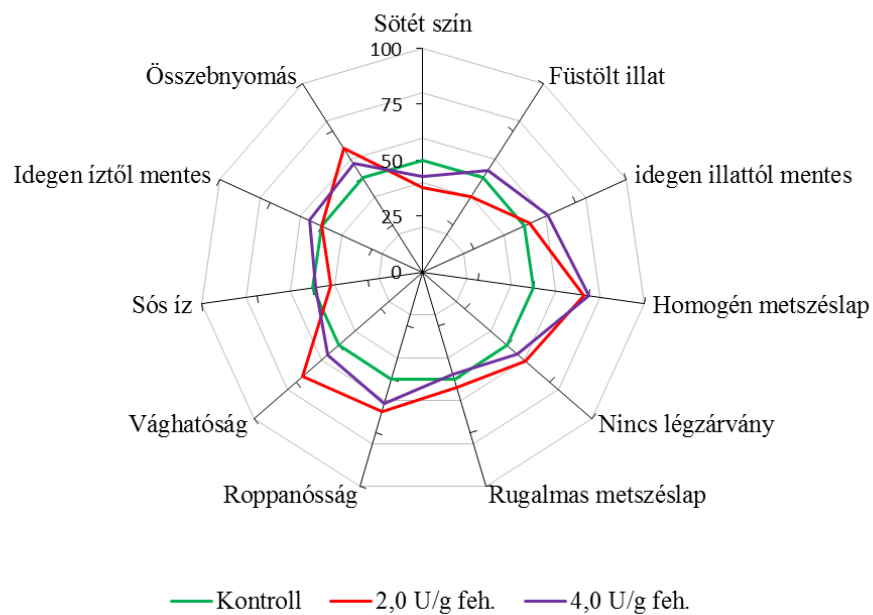
TBA-szám értéke csökkent az enzim koncentráció emelésével. Mindazonáltal ez a hatás 0,6 U/g fehérje enzim koncentráció felett már nem szignifikáns, azaz ennél magasabb enzim koncentráció alkalmazása már nem ésszerű.

3.4.1.6. Az enzim koncentráció hatása a frankfurti virsli érzékszervi tulajdonságaira

A frankfurti virsli érzékszervi bírálata különbség vizsgálati elven történt, azaz a 62. ábra. és a 63. ábrán a referenciaként használt kontrollhoz képest tapasztalt eltéréseket mutatom be.



62. ábra Az érzékszervi jellemzők változása az enzimadagolás (0-1,0 U/g feh) függvényében



63. ábra Az érzékszervi jellemzők változása az enzimadagolás (0, 2,0; 4,0 U/g feh) függvényében

Ez az ábrázolás által láthatóvá teszi, hogy az enzimkezelés koncentrációtól függően miként változtatta a vizsgált érzékszervi jellemzők megítélését. A 62. és a 63. ábra alapján megfigyelhető, hogy az enzimadagolás emelésével arányosan egyre homogénebb metszéstapasztaltak a bírálók. A virslire jellemző sötét, vörös színt viszont 1 U/g fehérje mTG koncentrációig érzékelték a bírálók, azaz az objektív mérési eredményt (24. táblázat) a szubjektív vizsgálat megerősítette (64. ábra).



64. ábra Frankfurteri virsli (bal: kontroll, jobb: enzimkezelt – 1 U/g fehérje)

Magasabb enzim koncentrációnál az mTG már hátrányosabbá vált, hiszen a bírálók a kontrollnál rosszabbnak ítélték. Ennek elsődleges oka, hogy a légzárványosság az enzim koncentráció növelésével fokozódott. Ezt az eredményt megerősíti a húspép készítése során szerzett tapasztalatom, miszerint az mTG túladagolásakor tömör húspép alakult ki, amely rossz tömörödése miatt elősegítheti a légzárványok megjelenését a masszában.

Eredményeim alapján a későbbi kísérletekben a 0,6 U/g fehérje enzimadagolást alkalmaztam.

3.4.2. A pácsó koncentráció és az enzimkezelés hatása a nyers és a hőkezelt termék technofunkciós tulajdonságaira

Manapság a fogyasztókat világszerte arra ösztönzik, hogy csökkentsék a napi konyhasófogyasztásukat, mert ezzel csökkenthetik a magas vérnyomás kockázatát és a krónikus szívbetegségek kialakulását. A húsipar ezért csökkentett sótartalmú készítményeket is gyárt, ezekben a nátrium-kloridot kálium- és magnézium-kloriddal helyettesítik (OHKI Archív 2016). Magyarországon ezt a termékfejlesztési irányt a gyulai húsipari üzem követte először 2013 áprilisában, amikor a Mintamenza Programba belépve csökkentett zsír- és só tartalmú vörösáruk gyártását vállalta (Gyulai Hírlap, 2013). A sócsökkentést ösztönzi a Stop Só Nemzeti

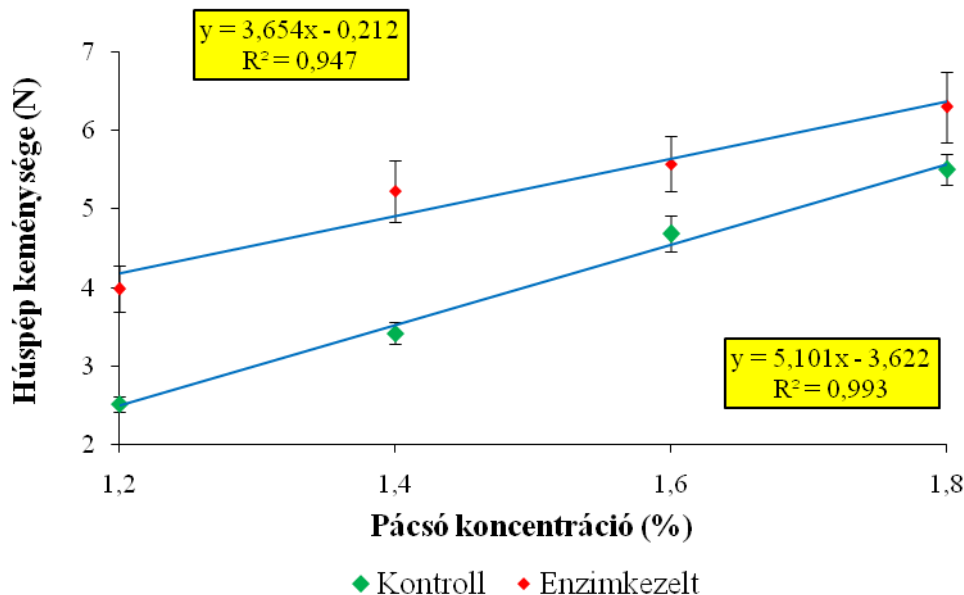
Sócsökkentő Program is. Az OÉTI által 2015-ben bevizsgált kereskedelmi forgalomban lévő frankfurti virslik 2,1-2,2% sótartalma között alakult (STOP SÓ, 2009). A magyarországi húsipari vállalatok közül a Kométa 99 és a SPAR csatlakozott az Európai Közösségi sócsökkentő keretprogramhoz.

A pácsó vízmegkötő és ízki alakító szerepe köztudott, mágis kísérleti kérdésként merül fel, hogy az mTG víztartó képessége révén mennyire tudja kompenzálni a csökkentett pácsó bevitelt. Továbbá irodalmazásom során megállapítottam, hogy a pácsó és az mTG együttes hatását csak 1-1 adott koncentrációban vizsgálták, ezért nincsenek adatok arra vonatkozóan, hogy az mTG miként hat 2-3 különböző pácsó adagolás esetén.

Ennek megfelelően e kísérlet sorozatban arra kerestem a választ, hogy az mTG alkalmazásával mennyire csökkenthető a termékbe bevitt pácsó mennyisége a vizsgált 1,2-1,8% pácsó koncentráció tartományban. Amennyiben az enzimezelés csökkentett sótartalmú frankfurti virsli esetén is megfelelő állományt eredményez, akkor ez a technológiai megoldás az egészségtudatos táplálkozás szempontjából is kiemelkedő fontosságú lehet.

3.4.2.1. A pácsó koncentráció és az enzimezelés hatása a húspép állományára

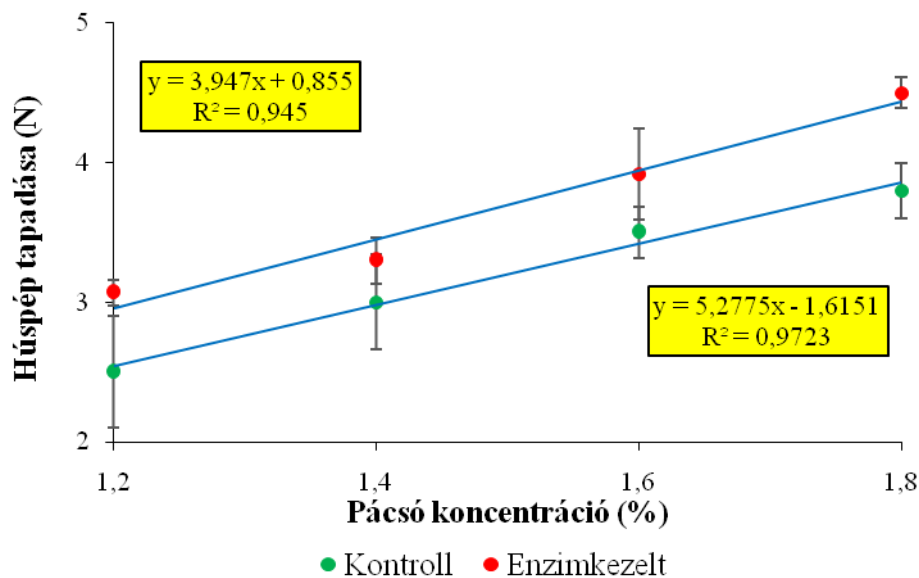
Először azt vizsgáltam, hogy a pácsó önmagában (kontroll) valamint az mTG-vel együtt hogyan változtatja meg a húspép keménységét. Az állománymérés (2.6.4.3.2. fejezet) eredményét a 65. ábrán szemléltetem.



65. ábra A húspép keménységének változása a pácsó koncentráció függvényében a kontroll és az enzimezelt minták esetén

A 65. ábra alapján PARK és KIM (2016) kutatásaihoz hasonlóan igazoltam, hogy a pácsó koncentráció emelésével a húspép keményedik, mert annak hatására a fehérjék egyre jobban feltáródtak és ennek következtében megduzzadtak. Továbbá megállapítható, hogy a mTG enzim állománymódosító hatása 1,2-1,4% pácsó koncentráció esetén 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns. Az enzim állomány módosító hatása annál szembetűnőbb, minél alacsonyabb pácsó koncentrációval készült a húspép. A 65. ábrán ezen túlmenően az is megfigyelhető, hogy az enzimkezelt húspép keménysége már 1,2% pácsó bevitel mellett is magasabb volt, mint amit 1,8% pácsó önmagában okozni tud. Az enzimkezelt frankfurti virsli keménysége ugyanis 1,4% pácsó koncentráció felett egyre magasabb értéket adott a kontrollhoz képest.

A húspép keménysége után a tapadását vizsgáltam meg. A 66. ábra mutatja be a pácsó koncentráció hatását kontroll és enzimkezelt húspépek tapadására.



66. ábra A húspép tapadásának változása a pácsó koncentráció függvényében a kontroll és az enzimkezelt minták esetén

A 66. ábra alapján, a kontroll minták eredményeit látva, egyértelműen megállapítható, hogy a húspép tapadását a pácsó koncentráció emelésével javítani lehet. Ezt az eredményt alátámasztja a koreai kutatók eredménye is (PARK és KIM 2016). Az enzim hatása csak a legmagasabb, 1,8% pácsó koncentráció esetén volt szignifikáns 95%-os megbízhatósági szinten. Összességében elmondható, hogy az mTG alkalmazásával már 1,2% pácsó bevitel mellett olyan tapadás érhető el, amelyhez különben 0,4%-kal magasabb, 1,6%-os pácsó bevitelre lenne szükség.

3.4.2.2. A pácsó koncentráció és az enzimkezelés hatása a frankfurti virsli színére

A kísérleteimben alkalmazott pácsó 0,05% nitritet tartalmazott. A nitrit legfontosabb szerepe a hús vörös színezetének megőrzése a hőkezelés során is. A nitrit ezt a feladatot a húsban lévő reduktáz enzimek hatására, nitrogén-oxiddá (NO) redukált formában éri el. Nitrogén-oxidként ugyanis reakcióba lép a mioglobinnal és nitrozo-mioglobin keletkezik, amely már képes a mioglobin hem részét megőrizni, hiszen a hőkezelést követően, stabil nitrozo-miokromogénné alakul (ZSARNÓCZAY 2011).

E fejezetben arra kerestem a választ, hogy a frankfurti virsli színezetére hogy hat a pácsó adagolás 1,2-1,8% koncentráció tartományban valamint, hogy milyen hatással van erre az enzimkezelés. Eredményeimet a 28 és 29. táblázatban mutatom be.

28. táblázat A pácsó koncentráció hatása a kontroll frankfurti virsli színére

Pácsó koncentráció (%)	Világossági tényező L*	Vörös színezet a*	Sárga színezet b*
1,2	57,58±1,22	6,18±0,44	11,18±1,02
1,4	59,08±1,62	6,58±0,74	11,08±1,22
1,6	61,59±2,12	6,99±0,51	10,84±1,12
1,8	64,53±2,37	6,74±0,42	10,46±1,00

29. táblázat A pácsó koncentráció és az enzimkezelés hatása a frankfurti virsli színére

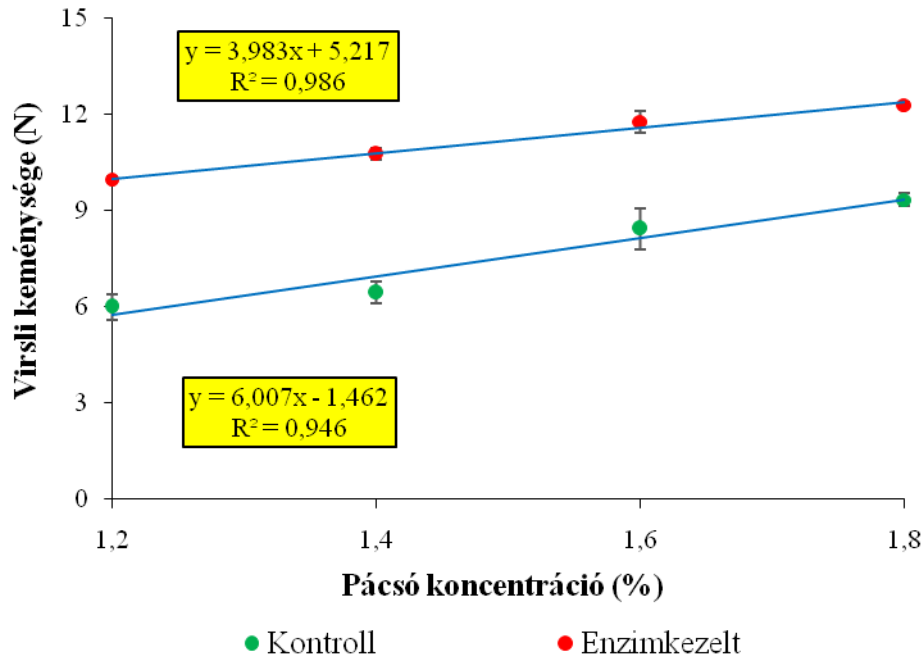
Pácsó koncentráció (%)	Világossági tényező L*	Vörös színezet a*	Sárga színezet b*
1,2	62,35±1,17	5,67±0,22	11,29±0,35
1,4	64,35±1,47	5,94±0,18	10,49±0,38
1,6	66,20±1,70	5,82±0,16	10,70±0,33
1,8	68,47±1,04	7,71±0,34	10,68±0,42

Megállapítottam, hogy esetemben az 1,2-1,6% pácsó koncentráció tartományban a vizsgált színiger tényezők értékei nem különböztek szignifikánsan, azaz a pácsónak nem volt hatása a frankfurti virsli színére. Hozzám hasonlóan HORITA et al (2014) is ezt tapasztalta.

A legmagasabb 1,8% pácsó koncentráció esetén viszont a frankfurti virsli 95%-os megbízhatósági szinten szignifikánsan vörösebb lett. Ezt tapasztalta PARK és KIM (2016) is. Általánosságban elmondható, hogy a sók hatására sötétedik és vörösödik a hús (SERRANO et al. 2004) Az enzimkezelés hatására világosabb és kevésbé vörös metszslapot tapasztaltam 1,2-1,6% pácsó koncentráció tartományban, azonban 1,8% pácsó bevitel esetén az enzimkezelt mintáim színe a kontrolltól már nem különbözött szignifikánsan. Ez azt jelenti, hogy a nitrit hatása 1,8% pácsó koncentrációnál volt ideális és a hatását az mTG alkalmazása nem befolyásolta.

3.4.2.3. A pácsó koncentráció és az enzimkezelés hatása a frankfurti virsli állományára

Az mTG enzim állománymódosító hatása a húspép esetén bebizonyosodott, de kérdés, hogy ez a hatás mennyire érzékelhető a hőkezelést követően? A frankfurti virsli keménységének (2.6.4.3.3. fejezet) változását a pácsó koncentráció és az enzimkezelés függvényében a 67. ábra szemlélteti.

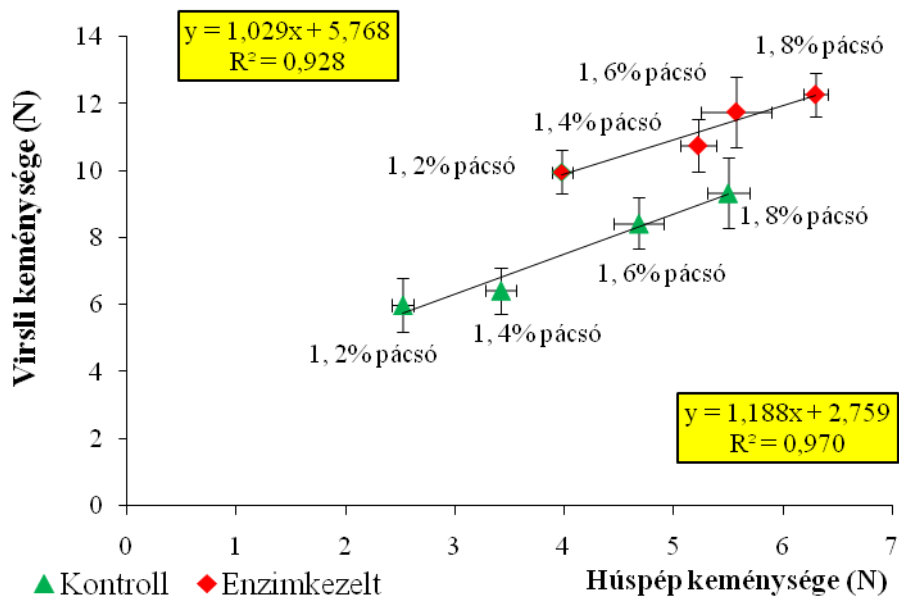


67. ábra A frankfurti virsli keménységének változása a pácsó koncentráció függvényében a kontroll és az enzimkezelt minták esetén

A 67. ábra alapján megállapítható, hogy a frankfurti virsli keménységét a pácsó önmagában is befolyásolta a vizsgált pácsó koncentráció tartományban. Az enzimkezelés hatására a pácsó koncentrációtól függetlenül jelentősen keményebbek voltak az enzimkezelt mintáim a kontrollnál (M3. melléklet). Eredményeimet megerősíti PIETRASIK et al. (2001) kutatása, aki hozzám hasonlóan módon arra jutott, hogy a virsli keménysége a pácsó koncentráció és az enzim koncentráció emelésével egyaránt növelhető.

3.4.2.4. A húspép és a frankfurti virsli állományának összefüggése a vizsgált pácsó koncentráció tartományban

Mivel a húspép és a virsli keménységét is meghatároztam állományméréssel, ezért lehetőségem volt az eredmények közötti összefüggés vizsgálatra is. Korábban megállapítottam, hogy az enzim koncentráció növelésének hatására mind a nyers, mind a hőkezelt termék keményebbé válik. Ezúttal azt vizsgáltam, hogy a pácsó koncentráció és az enzimkezelés hatása mennyiben változik a hőkezelés hatására. Eredményeimet a 68. ábrán mutatom be.



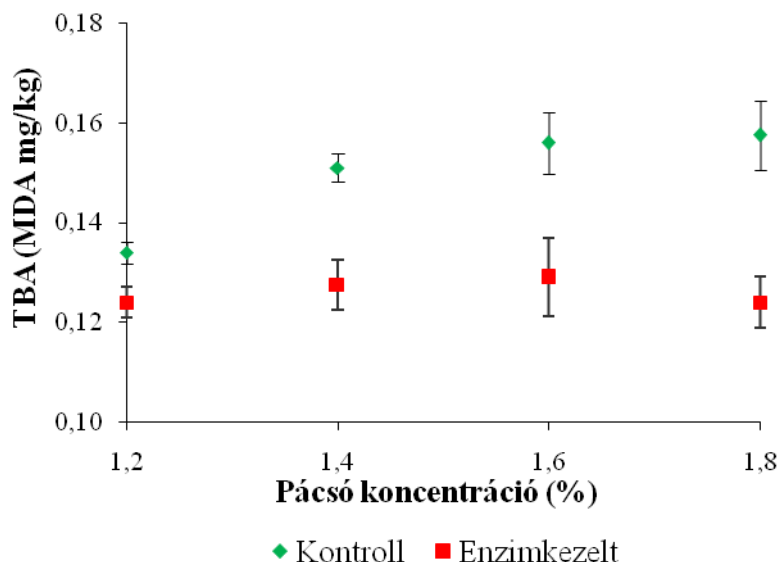
68. ábra A húspép és a belőle készült frankfurti virsli keménysége közötti összefüggés a kontroll és az enzimkezelt minták esetén

A 68. ábra alapján látható, hogy a 0,6% pácsó koncentráció emelés (1,2%-1,8%) hatására a húspép keménysége 54%-kal, a virslié 37%-kal nőtt, azaz a pácsó hatása a hőkezeléstől függetlenül érvényesül. Az enzimkezelés hatására a húspép és a virsli keménysége az alkalmazott pácsó koncentrációtól függetlenül nagyobb volt, de az mTG hatása a pácsó koncentráció emelésével fokozatosan csökkent: a húspépnél 58%-ról 41%-ra, a frankfurti virslineél 60%-ról 48%-ra. Továbbá azt is megállapítottam, hogy a 0,6% pácsó koncentráció emelés hatása az enzimkezelt húspép és virsli keménysége a kontrollhoz képest csökkent, a húspép esetén 36%-kal, a frankfurti virsli esetén csupán 19%-kal javította az állományt.

Összességében elmondható, hogy az enzimkezelés hatása a nyers és a hőkezelt termék esetén is bebizonyosodott, sőt az mTG állományjavító hatását a pácsó koncentráció emelése elősegíti. A késztermék sócsökkentésére az mTG enzim lehetőséget biztosít, hiszen már az 1,2% pácsóval készült enzimkezelt frankfurti virsli esetén is 25%-kal nagyobb keménységet mértem, mint az 1,8% pácsó adagolással készült kontroll termékénél.

3.4.2.5. A pácsó koncentráció és az enzimkezelés hatása a TBA-számra

A pácsó koncentráció és az enzimkezelés TBA-számra kifejtett hatását a 69. ábrán szemléltetem.



69. ábra A frankfurti virsli TBA-számának változása a pácsókoncentráció függvényében a kontroll és az enzimkezelt minták esetén

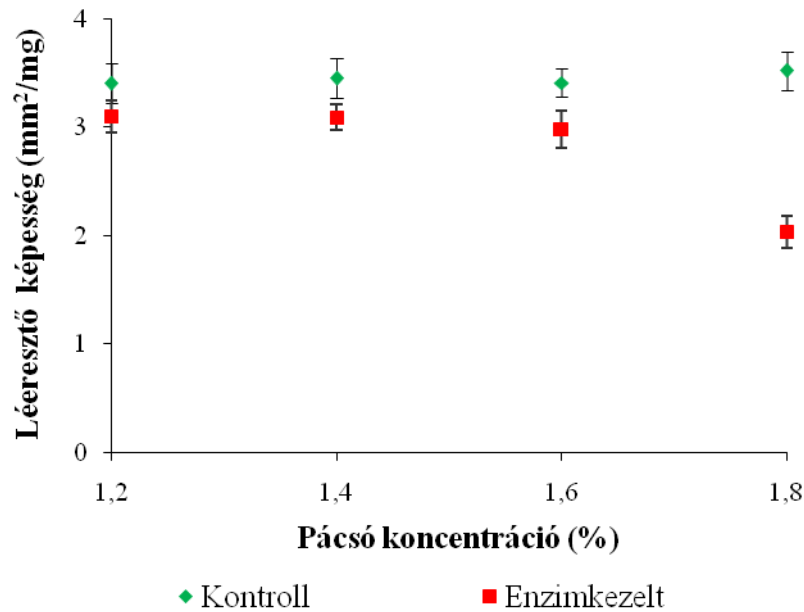
A 69. ábra alapján megállapítható, hogy az enzimkezelés hatására az avasodás mutató számának értéke mindig alacsonyabb volt, mint a kontroll értéke és ez a különbség 99%-os megbízhatósági szinten szignifikáns volt 1,4-1,8% pácsó koncentráció tartományban. Ezáltal bizonyítottam, hogy az mTG 0,6 U/g fehérje koncentrációban alkalmazva hozzájárul a frankfurti virsli oxidációs sebességének csökkenéséhez, sőt az enzimkezelés hatására stabilizálható a teljes vizsgált pácsó tartományban. Ennek oka, hogy az mTG koncentrációjának emelésével egyre tömörebb massa alakult ki, amely meggátolta az oxigén bejutását.

3.4.2.6. A pácsó koncentráció és az enzimkezelés hatása a frankfurti virsli léeresztő képességére

A vörösárukban megköthető víztartalom vizsgálatára két fogalom terjedt el. Az egyik a víztartókéesség (WHC = Water Holding Capacity), a másik a vízkötő képesség (WBC = Water Binding Capacity). Az elnevezés azonban félrevezető, hiszen a legelterjedtebb Grau-Hamm módszer szerint valójában az egységnyi súly hatására egységnyi idő alatt mintából távozó vízmennyiséget mérik. Az így távozó vízmennyiségét a keletkező folt nagysága alapján léeresztő képességként tárgyalom és értékét FRIEDRICH (2008) disszertációjához hasonlóan mm²/mg mértékegységben adom meg.

A vörösárukban a víz megkötésére leggyakrabban használt és leginkább elterjedt adalékanyagok a pácsó és a különböző foszfátok.

Szakirodalmi feldolgozásom alapján a frankfurti virsli léeresztő képességét a pácsó koncentráció függvényében még nem vizsgálták. Eredményeimet az alábbi, 70. ábrán mutatom be.

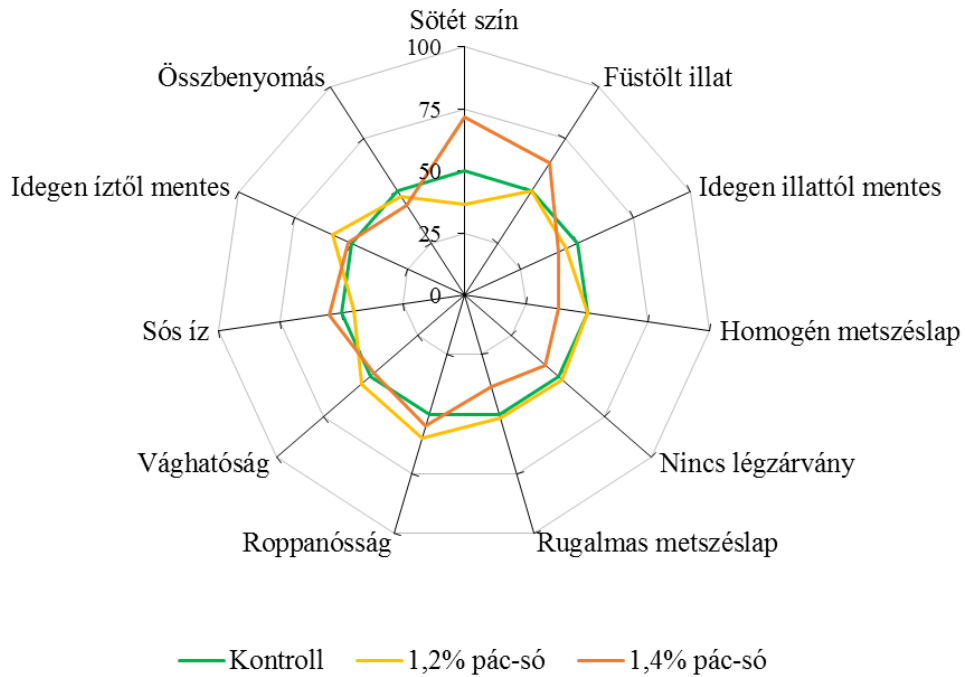


70. ábra A frankfurti virsli léeresztő képesség változása a pácsó koncentráció függvényében a kontroll és az enzimkezelt minták esetén

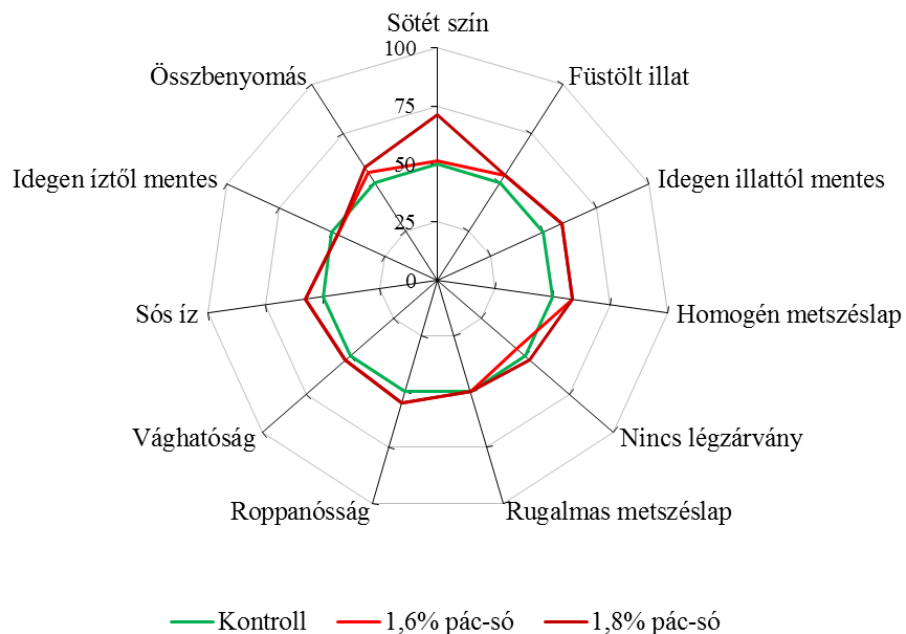
A 70. ábra alapján megállapítható, hogy a kontroll frankfurti virslik léeresztő képességére csupán a pácsó koncentráció emelése nem hatott szignifikánsan a vizsgált pácsó koncentráció tartományban. Ezzel szemben az enzimkezelt termékek esetén 13-20%-kal csökkent a termék léeresztő-képessége 1,6-1,8% pácsó adagolás esetén. Az mTG hatása a léeresztőképességre 1,8% pácsó koncentrációnál szignifikáns volt.

3.4.2.7. A pácsó koncentráció és az enzimkezelés hatása a frankfurti virsli érzékszervi tulajdonságaira

Az érzékszervi bírálat ez esetben is különbségvizsgálaton alapult (2.7.3. fejezet), azaz az enzimkezelés hatását mutatom be az egyes pácsó koncentrációk esetén (71. ábra és 72. ábra). A 71. ábra alapján megállapítható, hogy az 1,2% pácsó koncentráció esetén az enzimkezelés nem változtatott a frankfurti virsli megítélésén. Az 1,4% pácsó bevitel esetén a színt és az illatot jobbnak értékelték a bírálók, de az enzimkezelt termékben helyenként légzárványokat találtak, ami a homogén metszéspap kedvezőtlenebb megítélésében is visszatükröződik.



71. ábra Az érzékszervi jellemzők változása az enzimkezelés (0,6 U/g fehérje) és az alkalmazott (1,2-1,4%) pác-só koncentráció függvényében



72. ábra Az érzékszervi jellemzők változása az enzimkezelés (0,6 U/g fehérje) és az alkalmazott (1,6-1,8%) pác-só koncentráció függvényében

Az mTG állományjavító hatását 1,6% és 1,8% pác-só koncentráció tartományban a bírálók elsősorban a homogén metszéslap kedvező elbírálásával igazolták (72. ábra). Továbbá jobbnak ítélték az enzimkezelt termékek rugalmasságát, roppanósságát és vághatóságát is. Ennek

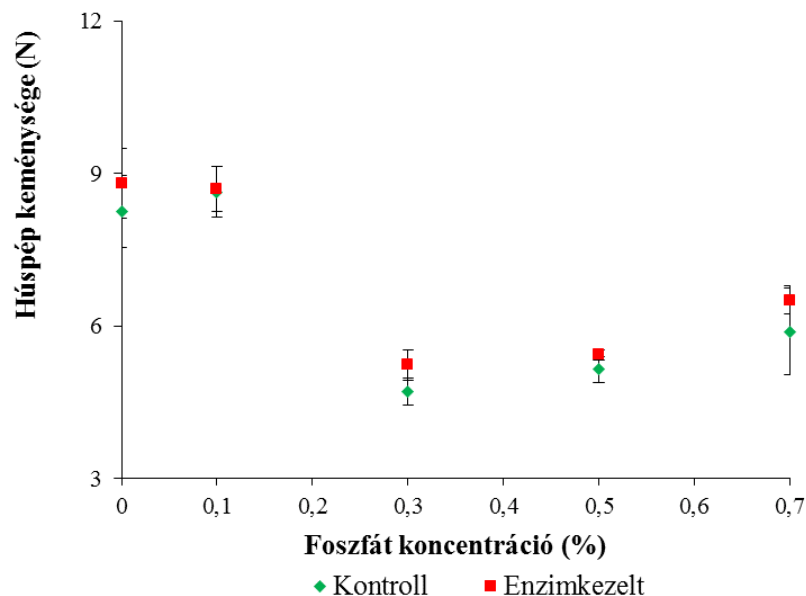
megfelelően a fogyasztók az összebenyomás értékelésekor is az enzimkezelt frankfurti virsliket részesítették előnyben az 1,6 - 1,8% pácsó adagolással készült termékek esetén. A pácsó csökkentésével kapcsolatos kísérleteimből impakt faktoros cikk is születet (DARNAY et al. 2014).

3.4.3. A foszfát koncentráció és az enzimkezelés hatása a nyers és hőkezelt termék technofunkciós tulajdonságaira

A kísérleti célom az volt, hogy megvizsgáljam 0,1-0,7% Na-szoluprát (tetranátrium-pirofoszfát) és a 0,6 U/g fehérje mTG együttes hatását a húspép és a belőle készült frankfurti virsli technofunkciós tulajdonságaira. Továbbá azt is vizsgáltam, hogy mennyire váltható ki a foszfát az mTG-vel, annak érdekében, hogy megfelelő állományú, de alacsony foszfáttartalmú frankfurti virsli gyártástechnológiájára adhassak példát.

3.4.3.1. A foszfátkoncentráció és az enzimkezelés hatása a húspép állományára

A foszfát adagolás és az enzimkezelés hatását a húspépek keménységére (2.6.4.3.2. fejezet) a 73. ábrán mutatom be.

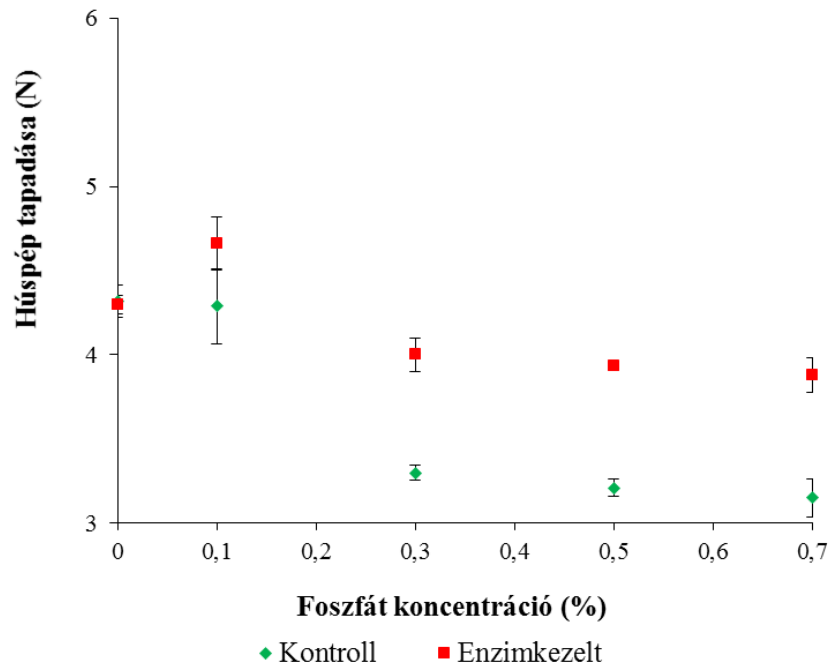


73. ábra A húspép keménységének változása a foszfát koncentráció függvényében a kontroll és az enzimkezelt minták esetén

A 73. ábrán látható, hogy az enzimkezelés nem hatott szignifikánsan a húspép keménységére a vizsgált foszfátkoncentráció tartományban. A foszfátkoncentráció azonban jelentősen befolyásolta a húspépek keménységét, a 0,3%-nál kevesebb foszfátot tartalmazó pépek

keménysege az enzimkezeléstől függetlenül 99% megbízhatósági szinten szignifikánsan nagyobb volt a magasabb foszfátadagolással készült termékekhez képest.

A húspép tapadásának változását a foszfát koncentráció és az enzimkezelés függvényében a 74. ábra szemlélteti.



74. ábra A húspép tapadásának változása a foszfát koncentráció függvényében a kontroll és az enzimkezelt minták esetén

A húspépek tapadásánál vizsgálatok azt tapasztaltam, hogy 0,3-0,7% foszfát bevitel esetén a húspépek tapadása a 99%-os megbízhatósági szinten szignifikánsan alacsonyabb a 0,3% alatti foszfát bevitelhez képest (lásd 74. ábra, kontroll értékek). Továbbá megállapítottam, hogy az enzimkezelés hatása a húspépek tapadására csak 0,3% foszfátadagolás felett szignifikáns, 99% megbízhatósági szinten. Az mTG hatására a húspépek tapadása ebben a foszfát koncentráció tartományban is stabil (4 N) maradt (74. ábra).

3.4.3.2. A foszfát koncentráció és az enzimkezelés hatása a frankfurti virsli színére

A frankfurti virsli szín mérésének eredményeit a foszfát koncentráció függvényében a 30. táblázatban, a foszfát és az enzim koncentráció függvényében a 31. táblázatban foglaltam össze. Megállapítottam, hogy a foszfát adagolás hozzájárult a frankfurti virsli vörös színezetének kialakulásához, mert az a^* értékek foszfát bevitel esetén koncentrációtól függetlenül magasabbak voltak a foszfátmentes termékhez képest.

30. táblázat A foszfát koncentráció hatása a kontroll frankfurti virsli színére

Foszfát koncentráció (%)	Világossági tényező L*	Vörös színezet a*	Sárga színezet b*
0	64,53±2,37	6,74±0,42	10,46±1,00
0,1	65,83±1,28	7,53±0,22	10,02±0,35
0,3	66,63±1,02	7,77±0,24	10,11±0,47
0,5	66,71±1,37	7,34±0,42	10,84±0,34
0,7	65,50±1,38	7,62±0,46	10,36±0,58

Az enzimkezelt frankfurti virsli színérésének eredményeit az egyes foszfát koncentrációkban a 31. táblázatban ismertetem.

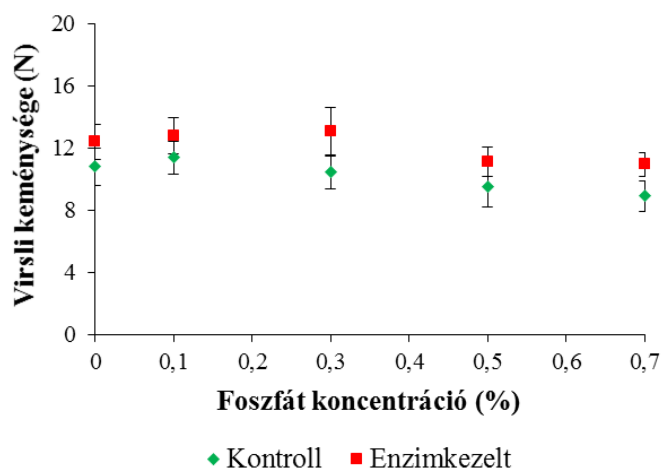
31. táblázat A foszfát koncentráció és az enzimkezelés hatása a frankfurti virsli színére

Foszfát koncentráció (%)	Világossági tényező L*	Vörös színezet a*	Sárga színezet b*
0	67,86±1,25	8,41±0,38	10,88±0,34
0,1	68,16±0,43	8,21±0,25	10,96±0,33
0,3	68,45±1,50	7,60±0,21	10,56±0,87
0,5	68,76±1,58	7,67±0,32	10,34±0,37
0,7	68,56±1,42	8,61±0,28	10,46±0,28

A 31. táblázat alapján látható, hogy az enzimkezelt minták világosabbá váltak a foszfát koncentráció emelésével, de ez a hatás nem volt szignifikáns. A vörös színezet átlagértékei ingadoztak, 0,3 és 0,5% foszfátbevitel esetén mértem a legalacsonyabb értékeket.

3.4.3.3. A foszfát koncentráció és az enzimkezelés hatása a frankfurti virsli állományára

A frankfurti virsli keménységét (2.6.4.3.3. fejezet) a foszfát- és az enzimadagolás hatására a 75. ábra szemlélteti.

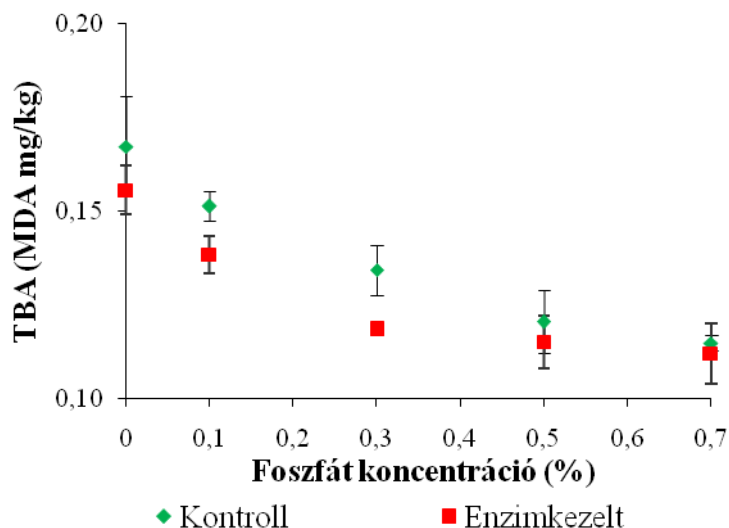
**75. ábra** A frankfurti virsli keménységének változása a foszfát koncentráció függvényében a kontroll és az enzimkezelt minták esetén

A 75. ábrán megfigyelhető, hogy a foszfát koncentrációnak önmagában nem volt szignifikáns hatása. Az eredményeim alapján megállapítható, hogy az enzimkezelés viszont foszfát koncentrációtól függetlenül 11-20%-os állományváltozást, keményedést okozott. Külön szeretném kiemelni, hogy az mTG állománymódosító hatása leginkább 0,3% foszfát adagolás esetén mutatkozott meg, amely megegyezik az ipari gyártási gyakorlatban általánosan alkalmazott foszfát koncentrációval. Ezt az eredményt megerősíti JIANG és YIN (2001) állítása, miszerint az mTG a pácsóval és a foszfáttal együtt (szinergens módon) működik.

3.4.3.4. A foszfát koncentráció és az enzimkezelés hatása a TBA-számra

A 76. ábrán mutatom be a foszfát koncentráció és az enzimkezelés hatását az avasodást jelző TBA-számra. Az ábra alapján megállapítható, hogy a foszfát koncentráció emelésével az avasodásra utaló TBA-szám értéke fordított telítési görbe mentén csökken. Koreai kutatók 1 hét hűtve tárolást követően 0,4% foszfátadagolás mellett hozzám képest kétszeres TBA-szám értéket kaptak (0,32 MDA mg/kg) alacsony zsírtartalmú virsli esetén, mint, amit én mértem a 4 napos kontroll mintáknál (LEE et al. 2012).

Az enzimkezelés hatására a frankfurti virsli TBA-száma 0-0,3% foszfát koncentráció tartományban alacsonyabb volt és lefutása hasonló volt a kontrollhoz.

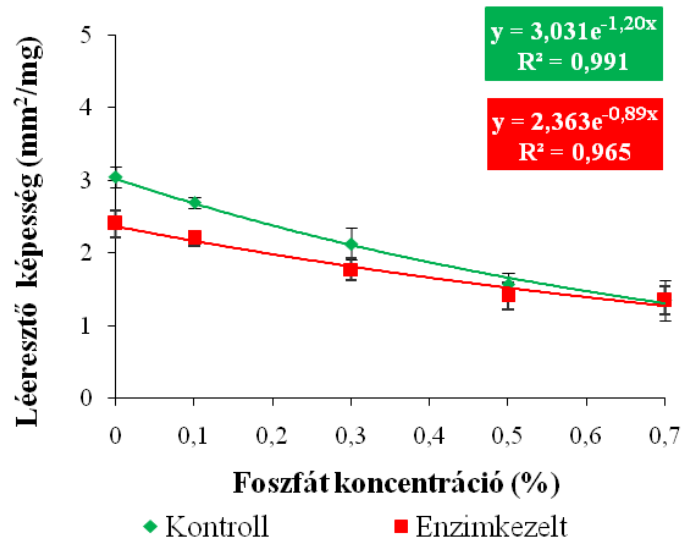


76. ábra A frankfurti virsli TBA-számának változása az enzimkezelés és a foszfát koncentráció függvényében

Ezek alapján megállapítottam, hogy az avasodási folyamat lassításában a foszfát is szerepet játszott a vizsgált 0-0,7% koncentráció tartományban és az enzim TBA-szám csökkentő hatását a 0,3% foszfát adagolás javítani tudja.

3.4.3.5. A foszfát koncentráció és az enzimkezelés hatása a frankfurti virsli léeresztő képességére

A következő, 77. ábrán a foszfát és az enzimkezelés hatását mutatom be a léeresztő-képességre.

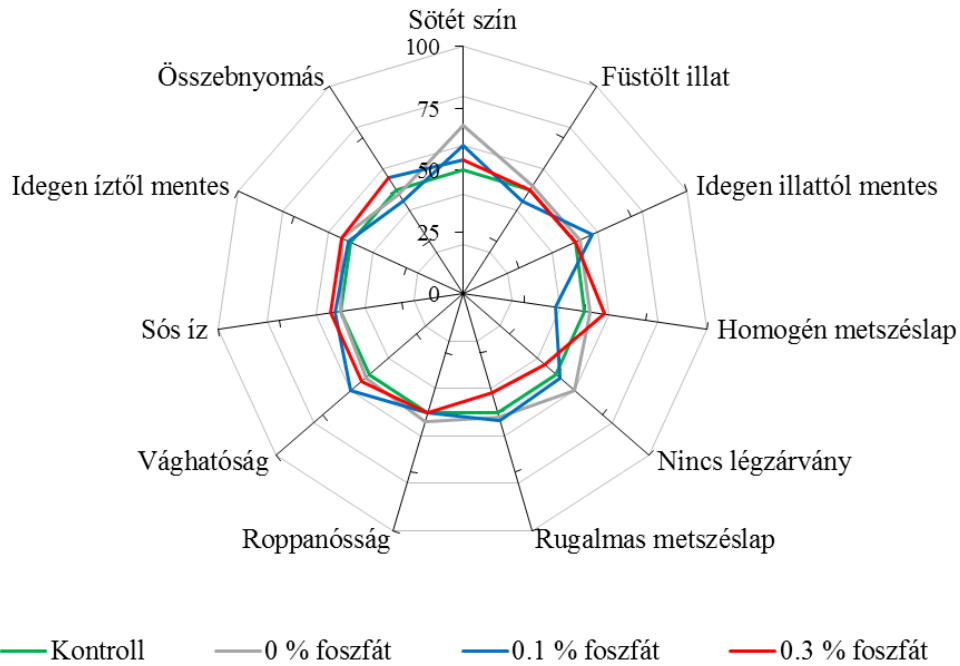


77. ábra A frankfurti virsli léeresztő-képesség változása a foszfát koncentráció függvényében a kontroll és az enzimkezelt minták esetén

A 77. ábra alapján megállapítottam, hogy a foszfát koncentráció emelésével a frankfurti virsli léeresztő képessége csökken a teljes vizsgált foszfát koncentráció tartományban. A foszfát vízkötő képességét már számos kutatás bizonyította (GRAU és HAMM 1972, POULANNE et al. 2001, TROUT és SCHMIDT 1984, WANG et al. 2009). Az enzimkezelés javítani tudta a vízkötőképességet 0-0,1% foszfátadagolás mellett. Megállapítható azonban, hogy 0,3% foszfát koncentráció felett a vízkötés javulását döntően a foszfát okozta. Eredményeim alapján egyértelműen látszik, hogy hatása 0,5% adagolás esetén az enzimkezelést már fölöslegessé teszi.

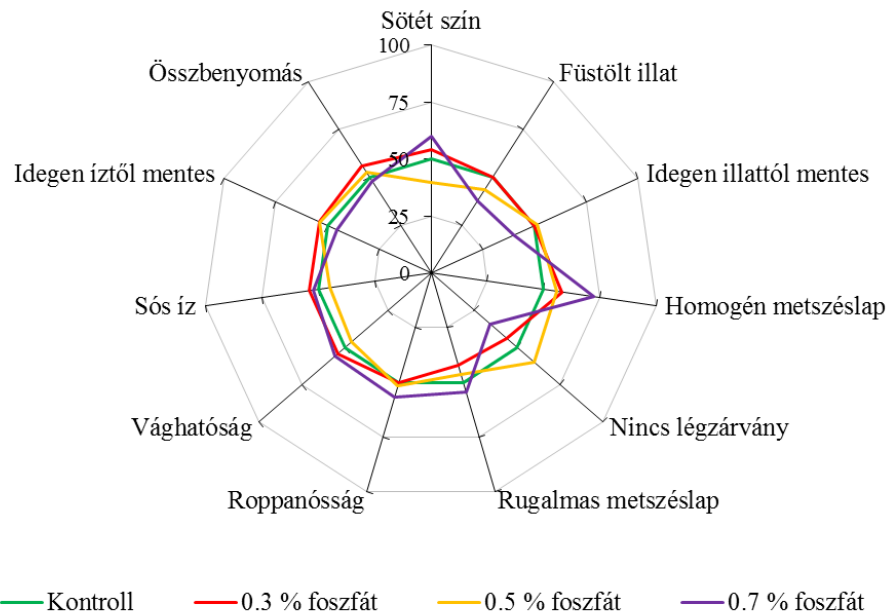
3.4.3.6. A foszfát koncentráció és az enzimkezelés hatása a frankfurti virsli érzékszervi tulajdonságaira

A 78. ábra és a 79. ábra egy érzékszervi sugárdiagram, amely az enzimkezelés kontrollhoz viszonyított hatását mutatja az egyes foszfát koncentrációk esetén. Az eredményeim alapján megállapítható, hogy az enzimkezelés hatása a 0,3% és a fölötti foszfát koncentrációk esetén nyilvánult meg elsősorban a metszéslap homogenitásában, a rugalmasságban, a roppanóságban és a vághatóságban.



78. ábra Az érzékszervi jellemzők változása az enzimkezelés és az alkalmazott (0-0,3%) foszfát koncentráció függvényében

A bírálók összebenyomás szempontjából a 0,3% foszfátadagolással készült enzimkezelt frankfurti virslit ítélték a legjobbnak.



79. ábra Az érzékszervi jellemzők változása az enzimkezelés és az alkalmazott (0,3-0,7%) foszfát koncentráció függvényében

Összességében elmondható, hogy az mTG állományjavító hatása a húspépben nem, de a frankfurti virsli keménységében az alkalmazott foszfát koncentrációtól függetlenül megmutatkozott, hiszen az enzimkezelt termékek keménysége 11-20%-kal magasabb volt a kontrollhoz képest. Az oxidációs folyamatok lassítása és a vízkötés javítása enzimkezelés esetén már 0,3% foszfátadagolás alatt is lehetséges. Mindazonáltal megállapítottam, hogy az mTG hatása e tényezőkre 0,3% foszfát bevitel mellett kifejezettebbé vált, azaz a foszfát ilyen koncentrációban elősegítette az mTG állománymódosító hatását, melyet az érzékszervi bírálók a homogén metszészlap és a vágathóság jobbnak ítéelésével objektíven is megerősítettek.

A foszfát csökkentés lehetőségeivel kapcsolatos kutatásaim eredményei várhatóan 2017 márciusában jelennek meg az egyetlen hazai impakt faktoros folyóirat az Acta Alimentaria azévi első számában.

3.5. Új tudományos eredmények

Módszertani tézisek

1. Kisszögű neutronsórás módszerrel kimutattam, hogy az enzimkezelés hatása a gélképződés 40. percétől kezdve meghatározható az alvadékból távozó fehérje aggregátumok számának csökkenése alapján.
2. Az mTG enzim aktivitása közvetlenül meghatározható a gyártás közben (az alvadék felvágásakor és kimelegítésekor) a 2,2% zsírtartalmú tejből készült sajt esetén a danzilált ZQG-DNS fluorescens festék enzimszelektív beépülése alapján mérhető fluorescens intenzitás emelkedés révén.

Technológiai tézisek

1. Bizonyítottam, hogy 1,5% zsírtartalmú pasztörözött tejből készült pohárban alvasztott joghurt esetén a gélszilárdság az enzim koncentráció emelkedésével lineárisan emelkedik és ez a tendencia 1 U/g fehérje enzim koncentrációnál két szakaszra bontható.
2. Megállapítottam, hogy amennyiben az alapanyag 1,2% zsírtartalmú pasztörözött tej, amelyhez 30 °C hőmérsékleten 0,04 U/g fehérje koncentrációban adagolnak mTG-t, a kultúrázással egy időben, akkor a hagyományos rögzös állományú túró kihozatala 25% szárazanyag tartalomra számolva 11%-kal növelhető laboratóriumi körülmények között.
3. Megállapítottam, hogy amennyiben az alapanyag 2,8% zsírtartalmú pasztörözött tej, amelyhez 30 °C hőmérsékleten 0,12 U/g fehérje koncentrációban adagolnak mTG-t, akkor amennyiben az enzimet a kultúrával egy időben adagolják, akkor 58% szárazanyag-tartalomra számolva 11%-kal magasabb sajtkihozatal várható laboratóriumi körülmények között.
4. Megállapítottam, hogy minél magasabb a kiinduló sajttej zsírtartalma, annál kevésbé csökken az enzimkezelt sajtok keménysége, amennyiben az alkalmazott enzimkoncentráció: 0,012 U/g fehérje és az mTG adagolása a kultúrával egyszerre történik.
5. A technofunkciós tulajdonságok és a termékjellemzők alapján megállapítottam, hogy a pácsó és a foszfát mennyisége csökkenthető frankfurti virsli esetén az mTG alkalmazásával.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Doktori disszertációmban a mikrobiális transzglutamináz (mTG) enzim állománymódosító hatásának vizsgálatát tejfehérje alapú modell oldatokon, pohárban alvasztott joghurton, rögös állományú túron, trappista sajton és frankfurti virsliin végeztem el.

A modell oldatos kísérletekben az mTG állománymódosító hatásának vizsgálatát egy szubsztrátos rendszerben (savanyú kazein, sovány tejpor) végeztem. Az osszcillációs állománymérés eredményei alapján megállapítottam, hogy a savanyú kazein modell oldat gélszilárdsága 4 óra enzimkezelést követően éri el a legmagasabb értéket, ezután már nem változik szignifikánsan. A kisszögű neutronsórázás vizsgálat megmutatta, hogy az mTG hatására már a gélképződés 40. percétől több savófehérje aggregátumot tart vissza az enzimkezelés által kialakult polimerizált fehérjeháló a kontrollnál, amely az mTG kihozatalnövelő hatását bizonyítja.

A pohárban alvasztott joghurt esetén azt vizsgáltam, hogy az alacsony zsírtartalom mellett milyen enzimkezeléssel és joghurt kultúrával biztosítható a megfelelő állomány. Megerősítem, hogy az enzim koncentrációnak nincs hatása a fermentáció folyamatára. A késztermék gélszilárdsága az enzim koncentráció emelésével exponenciális összefüggést mutatott, de a szignifikáns változáshoz legalább 1,0 U/g fehérje adagolásra volt szükség, mind az objektív, mind a szubjektív állományvizsgálat eredményei alapján. A további kísérletekben kiderült, hogy az alkalmazott joghurt kultúrának is van szerepe az enzimkezelés hatékonyságában, hiszen eredményeim szerint a hagyományos 1:1 arányú *Streptococcus thermophilus* és *Lactobacillus bulgaricus* joghurt kultúrához képest a *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* probiotikus tejsavbaktériummal rosszabb, a *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis* törzsszel jobb gélszilárdságot, kanalazhatóságot és alacsonyabb savóeresztést lehet elérni.

A rögös állományú túró esetén megállapítottam, hogy az enzimekésztménynek, az alkalmazott enzim koncentrációnak, az enzimadagolás időzítésének egyaránt hatása van a termék szárazanyag-tartalmára, kihozatalára, állományára és érzékszervi megítélésére. Eredményeim alapján az mTG mellett csak maltodextrint tartalmazó enzimekésztmény 0,04 U/g fehérje enzim koncentrációban és a kultúrával egy időben adagolva biztosította a legnagyobb, (11%-os) kihozatal-javulást, úgy hogy a termék szárazanyag-tartalma az Élelmiszerkönyv előírásainak megfelelően elérte a 25%-ot.

A trappista sajt esetén megállapítottam, hogy az alkalmazott enzim koncentrációnak, az enzimadagolás időzítésének és a kiinduló sajttej zsírtartalmának egyaránt fontos szerepe van a termék kihozatalában, állományában és érzékszervi megítélésében. A legnagyobb, 18%-os

kihozatal-javulást 2,8% zsírtartalmú tejből készült sajt esetén értem el, amikor az mTG-t (0,12 U/g fehérje) a kultúrával egy időben adtam a sajttejhez. Megállapítottam továbbá, hogy a 2,2% zsírtartalmú tejből készült sajt esetén a kontrollhoz képest jobban csökkent a rugalmasság.

Megállapítottam, hogy a sajtgyártás során a kifejlesztett fluorescens módszerrel az enzimaktivitás meghatározása lehetséges. Eredményeim alapján az enzimaktivitás közvetlen megállapítására sajt- és a gyártás közbeni mintavétel esetén fluorescens festék beépülése alapján lehetőség van. A módszer az enzimek készítmény, gyártó által javasolt enzimaktivitásának kimutatására, jellemzésére alkalmas.

A húspari termékek közül, hazai elterjedtsége és népszerűsége miatt, a frankfurti virslit választottam, melynek állományát nyers és hőkezelt állapotban is vizsgáltam. Az optimális enzim koncentráció megválasztásakor 0-4 U/g fehérje koncentráció tartományban végeztem kísérleteket. Arra jutottam, hogy az enzim koncentráció növelése már a húspép állományára kihatással van. A massa keményebbé, tömörebbé válik és az enzim túladagolása esetén, töltéskor nehezen tömöríthető. Az enzimkezelés hatására, az alkalmazott enzim koncentráció függvényében, a húspép tovább keményedett, ezért a főzésig eltelő időnek legfeljebb 60 percet javaslok. A hőkezelt követően a frankfurti virsli keménységében a húspéphez hasonlóan továbbra is az enzim koncentráció növelésének volt elsődleges szerepe. A kísérleteim során megfigyeltem, hogy az mTG koncentráció növelésével csökkent a TBA-szám a késztermékben. Az érzékszervi bírálat bebizonyította, hogy az mTG túladagolása esetén a rosszul tömörödő húspép miatt a metszslapon légzárványok keletkeznek, amelyekbe a mechanikailag kötött víz könnyen összegyűlhet, és onnan távozhat. A fentiek alapján megállapítottam, hogy frankfurti virsli esetén az enzim koncentrációja legfeljebb 0,6 U/g fehérje.

További kísérleteimben a frankfurti virslinél általánosan alkalmazott két adalékanyag a pácsó és a foszfát csökkentésének lehetőségét vizsgáltam az mTG állományjavító és jó vízkötő képességét feltételezve. A vizsgált 1,2-1,8% pácsó koncentráció tartományban az enzimkezelés a pácsó koncentrációtól függetlenül szignifikáns keményedést okozott a húspép és a belőle készült frankfurti virsli esetén egyaránt. Megállapítottam, hogy a nyers húspép és a hőkezelt termék keménysége között a pácsó koncentráció függvényében lineáris összefüggés van, amit az enzimkezelés szorosabbá tett. Az mTG oxidációra kifejtett hatását a TBA-szám is mutatta, hiszen értéke alacsonyabb volt a kontrollhoz képest a pácsó koncentrációtól függetlenül. Az érzékszervi bírálat alapján bebizonyosodott, hogy az enzimkezelés javított a frankfurti virsli megítélésén a teljes vizsgált pácsó koncentráció tartományban. Továbbá, 1,4% pácsó adagolás felett a bírálók szignifikánsan nagyobb pontszámot adtak a termék színére, illatára és ízére a kontrollhoz képest.

Az enzim állománymódosító hatása a teljes vizsgált foszfát koncentráció tartományban (0-0,7%) szignifikáns volt, amely 11-20%-os keményedést eredményezett a késztermékben. Az enzimkezelés hatására az alacsonyabb (0-0,3%) foszfátadagolás mellett szembetűnően javult a frankfurti virsli vízkötő képessége. Megállapítottam, hogy legalább 0,3% foszfát koncentrációra volt ahhoz szükség, hogy a metszéslap homogenitása, rugalmassága és roppanósága alapján az enzimkezelt termékek a kontroll mintáknál jobb értékelést kapjanak.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

PhD-kutatásaim szükségességét az alacsony zsírtartalmú és csökkentett adalékanyag-tartalmú élelmiszerekre irányuló fogyasztói igény és növekvő vásárlóerő alapozta meg. Irodalmi kutatásaim alapján megállapítottam, hogy a mikrobiális transzglutamináz enzim állománymódosító hatásának köszönhetően alkalmas lehet a tudatos vásárlók ilyen igényeinek kielégítésére az élelmiszeripar számos területén. Megállapítottam azonban, hogy bár az mTG alkalmazása elterjedt és ismert világszerte, de az enzimadagolásának állományt befolyásoló szerepe még mai napig nagy részben feltáratlan terület. Ezt felismerve célul tűztem ki, hogy megállapítsam, miként befolyásolja az enzim koncentráció és az adagolás időzítése a tejipari és húsipari termékek gyártás közbeni és gyártás utáni minőségét, különös tekintettel az állományra. A kezdeti modell oldatos kísérleteket követően hazánkban elterjedt és a fogyasztók körében népszerű élelmiszeripari termékeket készítettem és vizsgáltam, így pohárban alvasztott natúr joghurtot, rögös állományú túrót, trappista sajtot és frankfurti virslit. Eredményeim alapján arra jutottam, hogy az mTG segítségével kiváló gélszilárdságú és 2 hétig stabil állományú alacsony zsírtartalmú joghurt gyártható, amelynek vizsgált fő tulajdonságain a *Lactobacillus delbrueckii subsp lactis* tartalmazó DVS kultúra még tovább tud javítani. A rögös állományú túró esetén megállapítottam, hogy a kultúrával együtt adagolt mTG-vel, akár 11% kihozatalnövekedés érhető el, úgyhogy a termék szárazanyag tartalma továbbra is megfelel az Élelmiszerkönyv előírásainak. A trappista sajt esetén azt tapasztaltam, hogy enzimkezelés után, akár 18%-os kihozatal növekedést is lehetséges, 2,8% zsírtartalmú tejből kiindulva, amennyiben az enzimet a kultúrával egyszerre adjuk a sajttejhez. A 2,2%-os tejből készült sajt esetén bebizonyosodott, hogy az mTG enzim alkalmazása gyártás közbeni mintavétel esetén közvetlenül kimutatható az alkalmazott fluorescens festék enzim szelektív beépülése révén, valamint a módszer alkalmas lehet a pontos enzimaktivitás meghatározására is.

A frankfurti virsli esetén azt tanulmányoztam, hogy az enzimkezelés állománymódosító hatása révén miként járulhat hozzá az általánosan alkalmazott adalékanyagok (pácsó, foszfátok) mennyiségének csökkentéséhez. Előkísérleteim során megállapítottam, hogy az mTG adagolásával exponenciálisan nő a késztermék keménysége és fordított telítési görbe mentén csökken az oxidációs hajlama, de 0,6 U/g fehérje koncentráció felett a húspépek rossz tömörödése miatt a virsliben légzárványok maradnak. Megállapítottam, hogy frankfurti virslineél hagyományos alkalmazott adalékanyagok (1,8% pácsó, 0,4% foszfát) mennyisége csökkenthető 0,6 U/g fehérje mTG alkalmazásával. Az enzimkezelés mellett 1,4%-ra csökkenthető a pácsó bevitel vagy 0,3%-ra a foszfátadagolás, úgy hogy a termék állomány jellemzői és érzékszervi megítélése változatlan marad.

SUMMARY

My doctoral research was based on the fact that there is a growing demand for low-fat and low-additive products on the market. According to my literature research, mTG could be a possible solution for this consumer need in several food products due to its structure-modifying property. However I noted that despite the fact of widespread usage of mTG in the food industry, the optimal enzyme application could still not be perfectly understood. Regarding this fact, my main aim was to investigate how the enzyme dosage and timing influences the quality of meat and dairy products during and after manufacturing. My focus was therefore on textural properties. After the first trials with model solutions, I manufactured some dairy and meat product types, which are well-known by consumers and widespread in Hungary. As part of that, I made set-type yogurt, Hungarian style cottage cheese, Trappist cheese and frankfurter. My results showed that enzyme-treated low-fat yogurt may have outstanding gel firmness and impressive product stability during 2 week storage. Furthermore the quality of the yogurt could be improved further by using *Lactobacillus delbrueckii subsp lactis* containing DVS culture. Regarding Hungarian style cottage cheese, I could increase the yield by 11% if I applied mTG simultaneously with the starter culture. This result was achieved by meeting the dry matter requirements of Codex Alimentarius Hungaricus too. In the case of Trappist cheese I could realise a 11% yield improvement, when mTG was added simultaneously to 2.8% pasteurised milk with the starter culture. In the case of cheese made of 2.2% pasteurised milk I have also proved that enzyme-treatment can be defined by with fluorescent labelling method if the sample was taken during the manufacturing process. Furthermore this method seems to be sufficient to determine the actual enzyme activity of the enzyme-treated cheese.

I have also investigated the possibility of decreasing the ratio of commonly used additives (pickling salt, phosphates) in frankfurters by making use of the texture-modifying property of mTG. According to my preliminary studies the increase in enzyme concentration caused an exponential increase in the hardness of frankfurter and caused a decrease in the oxidation capacity. However more, than 0.6 U/g protein mTG concentration led to stuffing-errors, which resulted in air bubbles by the final product. I assumed that the quantity of the commonly used additives (1.8% pickling salt, 0.4% phosphates) could be decreased, when applying 0.6 U/g protein mTG. Pickling salt could be reduced to 1.4%, or phosphates could be reduced to 0.3% without any side effects on texture and quality.

6. MELLÉKLETEK

M1.

Irodalomjegyzék

AALTONEN, T., HUUMONEN, A., MYLLÄRINEN, P. (2014). Controlled transglutaminase treatment in Edam cheese-making. In: *International Dairy Journal*, 38 179–182. p.

ABD-RABO, F. H. R., EL-DIEB, S. M., ABD-EL-FATTAH, A. M., SAKR, S. S. (2010): Natural state changes of cows' and buffaloes' milk proteins induced by microbial transglutaminase. In: *Journal of American Science*, 6 612–620. p.

ACQUIRRE, O. M. P. M. (2006): Stability of microbial transglutaminase and its reactions with individual caseins under atmospheric and high pressure. PhD disszertáció. Drezdai Műszaki Egyetem

AHMED, A. M., KURODA, R., KAWAHARA, S., OHTA K., , NAKADE, K., AOKI T., MUGURAMA M. (2009): Dependence of microbial transglutaminase on meat type in myofibrillar proteins cross-linking. In: *Food Chemistry*, 112, 354–361. p.

AJINOMOTO (1998): ACTIVA General Information – Transglutaminase Basics. <http://www.naturalproductsinsider.com/bgpl/FPDajinomoto5.pdf>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: ACTIVA general information. Lekérdezés időpontja: 2016.04.04.

ALLAIS, I. (2010): Emulsification In: *Handbook of Meat Processing*. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, USA 143–168. p.

ANDO, H., ADACHI, M., UMEDA, K., MATSUURA, A., NONAKA, M., UCHIO, R., TANAKA, H., MOTOKI, M. (1989): Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms. In: *Agricultural and Biological Chemistry*, 53 2613–2617. p.

APRODU, I., GURAU, G., IONESCU, A., BANU, I. (2011): The effect of transglutaminase on the rheological properties of yogurt, In: *Scientific Study & Research Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 12 (2) 185–196. p.

ASHIE, I. N. A., LANIER, T. C. (1999): High Pressure Effects on Gelation of Surimi and Turkey Breast Muscle Enhanced by Microbial Transglutaminase. In: *Journal of Food Science*, 64 704–708. p.

BARA-HERCZEGH, O., HORVÁTH-ALMÁSSY, K., FENYVESSY, J. & ÖRSI, F. (2001): Suitability of Textural Parameters for Characterization of Trappist Cheese Ripening. In: *Acta Alimentaria*, 30 127–143. p.

BARA-HERCZEGH (2002): Instrumental and sensory tests for monitoring the quality of some cheeses. Doktori (PhD) értekezés, Szegedi Tudományegyetem

- BAGDI, A., TÓTH, B., LŐRINCZ, R., SZENDI, Sz., GERE, A., KÓKAI, Z., SIPOS, L., TÖMÖSKÖZI, S. (2016) Effect of aleurone-rich flour on composition, baking, textural, and sensory properties of bread, In: *LWT – Food Science and Technology*, 65 762–769. p.
- BEAUCAGE, GJ. (1995): Approximations leading to a unified exponential/power-law approach to small-angle scattering. In: *Journal of Applied Crystallography*, 28 717–728. p.
- BEAUCAGE GJ. (1996): Small-angle scattering from polymeric mass fractals of arbitrary mass-fractal dimension. In: *Journal of Applied Crystallography*, 29 134–146. p.
- BECH, L., RASMUSSEN, G., HALKIER, T., OKADA, M., ANDERSEN, L. N., KAUPPINEN, M. S., SANDAL, T. (1996): Transglutaminases from oomycetes, their production with recombinant cells, and their use in foods and cosmetics. In: International Patent system, wo 9622366, A1 19960725., 75. p.
- BERNARD, B. K. (2001): Transglutaminase GRAS Notification submitted to the U.S. Food and Drug Administration. http://www.accessdata.fda.gov/scripts/fcn/gras_notices/grn000029.pdf
- BLASKÓ, B. (2007): A C. Elegans protein diszulfid izomeráz transzglutamináz aktivitásának vizsgálata. Doktori (Ph.D.) értekezés. Debreceni Egyetem
- BLOUKAS, J. G., PANERAS, E. D., FOURNITZIS, G. C. (1997): Effect of replacing pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages. In: *Meat Science*, 45 (2) 133–144. p.
- BOURNEOW, C., BENJAKUL, S., H-KITTIKUN, A. (2012): Impact of some additives on the stability of microbial transglutaminase from Providencia so. C112, In: *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 5 (3) 226–233. p.
- BÖNISCH, M. P., HUSS, M., WEITL, K., KULOZIK, U. (2007a): Transglutaminase cross-linking of milk proteins and impact on yoghurt gel properties. In: *International Dairy Journal*, 17 1360–1371. p.
- BÖNISCH, M. P., HUSS, M., LAUBER, S., KULOZIK, U. (2007b): Yoghurt gel formation by means of enzymatic protein cross-linking during microbial fermentation. In: *Food Hydrocolloids*, 21 585–595. p.
- BÖNISCH, M. P., HEIDELBACH, H. C., KULOZIK, U. (2008): Effect of Ultra-high Temperature Treatment on the Enzymatic Cross-linking of Micellar Casein and Sodium Caseinate by Transglutaminase. In: *Journal of Food Science*, 69 (8) 398–404. p.
- BUDEMANN, A. (2002): Enzyme – die Katalysatoren des Lebens. Előadás a GDL Kongresszuson, Osnabrück.
- CANCINO, B., FUENTES, P., KULOZIK, U. (2006): Effect of protein addition on the structure of set style and stirred yoghurt with and without the use of transglutaminase. In: *Desalination*, 200 (1-3) 531–532. p.

CARBALLO, J., AYO, J., COLMENERO, J. (2006): Microbial transglutaminase and caseinate as cold set binders: Influence of meat species and chilling storage. In: *LWT - Food Science and Technology*, 39 692–699.p.

COLMENERO, F. J., AYO, M. J., CARBALLO, J. (2005): Physicochemical properties of low sodium frankfurter with added walnut: effect of transglutaminase combined with caseinate, KCl and dietary fibre as salt replacers. In: *Meat Science*, 69 781–788. p.

COZZOLINO, A., DI PIERRO, P., MARINIELLO, L., SORRENTINO, A., MASI, P., PORTA, R. (2003): Incorporation of whey proteins into cheese curd by using transglutaminase. In: *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 38 289–195. p.

CUI, L., DUB, G., ZHANG, D., LIU, H., CHEN, J. (2007): Purification and characterization of transglutaminase from a newly isolated *Streptomyces hygrosopicus*. In: *Food Chemistry*, 105 612–618. p.

CSISZAR, J. (1949): Changes in the hardness of Trappist cheese during its ripening period. In: *International Dairy Congress*, 2 66–72. p.

CSAPÓ, A. (2008): A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés hatása a joghurt kultúrák gélképző tulajdonságaira. Szakdolgozat, Budapesti Corvinus Egyetem

DARNAY, L., DANKOVICS, A., FRIEDRICH, L., KENESEI, Gy., MOLNÁR, B., BALLA, Cs. (2014): Production of low-salt frankfurters with microbial transglutaminase. In: *Acta Alimentaria*, 43. 45–50. p.

DARNAY, L., LEN, A., KONCZ, Á., FRIEDRICH, L., ROSTA, L. (2015): Small angle neutron scattering study of nanostructural changes in microbial transglutaminase-treated low-fat yogurt during fermentation. In: *Food Science and Biotechnology*, 24 (6) 2125-2128. p.

DARNAY, L., KONCZ, Á., GELENCSÉR, É., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., FRIEDRICH, L. (2016): Textural properties of low-fat set-type yoghurt depending on mTG addition. In: *Mljekarstvo*, 66 (3) 225–230. p.

DARNAY, L., KRÁLIK, F., OROS, G., KONCZ Á., FIRTHA, F. (2017a): Monitoring the effect of transglutaminase in semi-hard cheese during ripening by hyperspectral imaging. In: *Journal of Food Engineering*, 196, 123–129. p.

DARNAY, L. (2017): Determination of mTG activity in low-fat semi-hard cheese using fluorescent labelling. In: *Journal of Fluorescence*, Elfogadva.

DARNAY, L., TÓTH A., SALAMON B., PAPIK, K., OROS, G., JÓNÁS, G., HORTI K., KONCZ K., FRIEDRICH L. (2017b): Texture-modifying properties of microbial transglutaminase on 2 popular Hungarian products: Trappist cheese and frankfurter. In: *Acta Alimentaria*, Accepted manuscript

DELGADO-PANDO, G., COFRADES, S., RUIZ-CAPILLAS, C., JIMÉNEZ-COLMENERO, F. (2010): Healthier lipid combination as functional ingredient influencing sensory and technological properties of low-fat frankfurters. In: *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112 (8) 859–870. p.

DI PIERRO, P., MARINIELLO, L., SORRENTINO, A., GIOSAFATTO, C. V. L., CHIANESE, L., PORTA, R. (2010): Transglutaminase-Induced Chemical and Rheological Properties of Cheese. In: *Food Biotechnology*, 24 (2) 107–120. p.

DIMITRAKOPOLOU, M. A., AMBROSIADIS, J. A., ZETOU, F. K., BLOUKAS, J. G. (2005): Effect of salt and transglutaminase (TG) level and processing conditions on quality characteristics of phosphate-free, cooked, restructured pork shoulder. In: *Meat Science*, 70 743–9. p.

DONDERO, M., FIGUEROA, V., MORALES, X. and CUROTTO, E. (2006): Transglutaminase effects on gelation capacity of thermally induced beef protein gels. In: *Food Chemistry*, 99 (3) 546–554. p.

EFSA (2016): Food enzyme applications submitted to the Commission within the legal deadline (from 11 September 2011 to 11 March 2015), Updated on 25 July 2016. https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/fs_food-improvement-agents_enzymes-applications.pdf Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: EU List, Food enzyme application. Lekérdezés időpontja: 2016.11.13

ENGEL, K.-H., MOREANO, F., SAKAMOTO, J. (2000): Mikrobielle Transglutaminasen in der Lebensmittelindustrie – Grundlagen. In: Lösche, K. (Hrsg.): *Enzyme in der Lebensmitteltechnologie*, Hamburg: B. Behr's Verlag, S. 125–169

FARNSWORTH, J. P., LI, J., HENDRICKS, G. M., GUO, M. R. (2006): Effects of transglutaminase treatment on functional properties and probiotic culture survivability of goat milk yogurt. In: *Small Ruminant Research*, 65 (1-2) 113-121. p.

FENG, J., XIONG, Y. L. (2002): Interaction of myofibrillar and preheated soy proteins. In: *Journal of Food Science*, 67 (8) 2851–2856. p.

FINK, M. L., CHUNG, S. I., FOLK, J. E. (1980): Gamma-Glutamylamine cyclotransferase: specificity toward epsilon-(L-gamma-glutamyl)-L-lysine and related compounds. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 77 (8) 4564-8.p.

FLORES, N. C., BOYLE, E. A. E., KASTNER, C. L. (2007): Instrumental and consumer evaluation of pork restructured with activa™ or with Fibrimex™ formulated with and without phosphate. In: *Food Science and Technology*, 40 179–185. p.

FOLK, J. E., COLE, P. W. (1966): Mechanism of action of guinea pig liver transglutaminase. I. Purification and properties of the enzyme: identification of a functional cysteine essential for activity. In: *Journal of Biological Chemistry*, 23 5518–5525. p.

FRIEDRICH, L. (2008): Ultrahang alkalmazása húskészítmények minősítésében és gyártástechnológiájában. PhD disszertáció, Budapesti Corvinus Egyetem

FRIEDRICH, L., KONCZ, K., VÉN, Cs. (2011): Húspép minőségét befolyásoló tényezők vizsgálata. Gyakorlati jegyzet Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Hűtő- és Állatiermék Technológiai Tanszék

- GAUCHE, C., TOMAZI, T., BARRETO, P. L. M., OGLIARI, P. J., BORDIGNON-LUIZ, M. T. (2007): Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. In: *LWT- Food Science and Technology*, 42 239–243. p.
- GERBER, U., JUCKNISCHKE, U., PUTZIEN, S., FUCHSBAUER, H.-L. (1994): A rapid and simple method for the purification of transglutaminase from *Streptovorticillium mobaraense*. In: *Biochemical Journal*, 299 825–829. p.
- GERE, A. (2016): Módszerfejlesztés a preferenciaterképezésben, Ph. D. értekezés, Szent István University
- GONÇALVES, A. A., PASSOS, M. G. (2010): Restructured fish product from white croaker (*Micropogonias furnieri*) mince using microbial transglutaminase. In: *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53 (4) 987–995. p.
- GORDON RESEARCH CONFERENCES (2016): Transglutaminases in Human Disease Processes, <https://www.grc.org/programs.aspx?id=14564> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: transglutaminase conference. Lekérdezés időpontja: 2016.06.15.
- GORNY (2014): Labelling foodstuffs made with the enzyme Transglutaminase. http://transglutaminase.com/sites/default/files/2016-03/Gorny%20Law%20Labeling%20of%20TG%20in%20final%20product%2014%20May%2014_en.pdf Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Gorny law, transglutaminase Lekérdezés időpontja: 2015. 11.10.
- GRAU, R., HAMM, R. (1952): Eine einfache Methode zur Bestimmung der Wasser- bindung in Fleisch. In: *Fleischwirtschaft*, 4 295-297. p.
- GREEN, P. H. R., JABRI, B. (2003): Coeliac disease. In: *Lancet*, 362 383–391. p.
- GROSSOWICZ, N., WAINFAN, E., BOREK, E., WAELSCH, H. (1950): The enzymatic formation of hydroxamic acids from glutamine In: *Journal of Biological Chemistry*, 187 (1) 111-125. p.
- GUYOT, C., KULOZIK, U. (2011): Effect of transglutaminase-treated milk powders on the properties of skim milk yoghurt. In: *International Dairy Journal*, 21 628-635. p.
- GYULAI HÍRLAP (2013): A Mintamenza program elvárásainak megfelelő termékek gyártásába kezdett a Gyulahús Kft. <http://www.gyulaihirlap.hu/100653-a-mintamenza-program-elvarasainak-megfelelo-termek> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Mintamenza program, Gyulahús. Lekérdezés időpontja: 2015.01.07.
- HAN, Q., LINCOURT, H., PFEIFER, K., SCHUERMAN, M. (2003): Process for making a cheese product using transglutaminase. Amerikai szabadalom. Szabadalom száma: US 6,572,901 B2
- HATTEL, M., GÜNIKER, R., JANSSEN, T. (2005): Herstellen von Rohschinken „Meterware”. In: *Kulmbacher Notizen*, 36 12. p.

HEALTH CANADA (2016): Notice of Modification to the List of Permitted Food Enzymes to Enable the Use of Transglutaminase from *Streptococcus mobaraense* S-8112 in Bread, Flour, Whole Wheat Flour, and Unstandardized Bakery Products – Document Reference Number: NOM/ADM-0071. <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/consult/nom-adm-0071/index-eng.php>
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Health Canada, Transglutaminase Lekérdezés időpontja: 2016.11.13.

HONG, G. P., CHIN, K. B (2010): Effects of microbial transglutaminase and sodium alginate on cold-set gelation of porcine myofibrillar protein with various salt levels. In: *Food Hydrocolloids*, 24 444–451.

HONG, G. P., CHIN, K. B. (2009): Optimisations of calcium alginate and microbial transglutaminase systems to form a cold-set myofibrillar protein gelation. In: *Korean journal of Food Science Animal Resource*, 590-598. p.

HONG, G. P., MIN, S. G., CHIN, K. B. (2012): Emulsion properties of pork myofibrillar protein in combination with microbial transglutaminase and calcium alginate under various pH conditions. In: *Meat Science*, 90 185–193. p.

HORITA, C.N., MESSIAS, V.C. , MORGANO, M. A., HAYAKAWA, F.M., POLLONIOA, M.A.R. (2014): Textural, microstructural and sensory properties of reduced sodium frankfurter sausages containing mechanically deboned poultry meat and blends of chloride salts. In: *Food Research International*, 66 29–35. p.

HUANG, Y. P., SEGURO, K., MOTOKI, M., TAWADA, K. (1992): Cross-linking of contractile proteins from skeletal muscle by treatment with microbial transglutaminase. In: *Journal of Biochemistry*, 112 229–234. p.

HUBERTUS DE, J. G. A., BOURMANS, J. W. L., WIJNGAARDS, G. (2005): Food grade transglutaminase inhibitor and uses thereof. Amerikai szabadalom. Szabadalom száma: 20050031603

HUPPERTZ, T., DE KRUIF, C. G. (2008): Structure and stability of nanogel particles prepared by internal cross-linking of casein micelles. In: *International Dairy Journal*, 18 556-565. p.

HWANG, D-C. (2004): Transglutaminase Cross-linked Soy Protein Composition, Fish and Meat Products and Analogues Thereof. Európai szabadalom. Szabadalom száma: 1 459 635 A1.

IANCU, C., BUTU, N., BAHRIM, G. (2009): Preliminary studies regarding transglutaminase synthesis by polar filamentous bacteria of the genus *Streptomyces* sp. In: *Innovative Romanian Food Biotechnology*, 4 12-15. p.

ICHINOSE, A., HENDRICKSON, L. E., FUJIKAWA, K., DAVIE, E. W. (1986): Amino acid sequence of the a subunit of human factor XIII. In: *Biochemistry*, 25 6900-6906.p.

ILČIĆ, M. D., MARIJANA, D. C., MILANOVIĆ, S.D., DOKIĆ, L. P., ĐURIĆ, M. S., BOŠNJAK, G. S., DURAKOVIĆ, K. G.(2008): Viscosity changes of probiotic yoghurt with transglutaminase during storage. In: *Acta periodica technologica*, (39) 11-19. p.

ILČIĆ, M. D., MILANOVIĆ, S.D., KANURIĆ, K. G., VUKIĆ, V. R., HRNJEZ, D. V. (2013): The effect of processing parameters on the structure of fermented milk products with transglutaminase addition, In: *Acta periodica technologica*, (44) 67–74. p.

IONESCU, A., APRODU, I., DARABĂ, A., PORNEALĂ, L. (2008): The effects of transglutaminase on the functional properties of the myofibrillar protein concentrate obtained from beef heart. In: *Meat Science*, 79 (2) 278–284. p.

ISO 6658, ISO 6658:2005, Sensory analysis -- Methodology -- General guidance, (2005).

ISO 8589:2007, ISO 8589:2007, Sensory analysis -- General guidance for the design of test rooms, (2007).

ISO 8586:2012, ISO 8586:2012, Sensory analysis – General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors, (2012).

JAROS, D., HEIDIG, C., ROHM, H. (2007): Enzymatic modification through microbial transglutaminase enhances the viscosity of stirred yogurt. In: *Journal of Texture Studies*, 38 2 179-198. p.

JAROS, D., SCHWARZENBOLZ, U., RAAK, N., LÖBNER, J., ROHM, H. (2014): Cross-linking with microbial transglutaminase: Relationship between polymerisation degree and stiffness of acid casein gels. In: *International Dairy Journal*, 38 (2) 174–178. p.

JIANG S-T., YIN L-J. (2001): Application of Transglutaminase in Seafood and Meat Processings. In: *Journal of The Fisheries Society of Taiwan*, 28 (3) 151–162. p.

JUHÁSZ, R., ZEKE, I., BALLA, Cs., BARTA, J. (2011): Oszcillációs reometria alkalmazása az élelmiszer vizsgálatokban. In: *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 57 (3) 169–180. p.

JUVONEN, K., (2012): Crosslinking with transglutaminase does not change metabolic effects of sodium caseinate in model beverage in healthy young individuals. In: *Nutrition Journal*, 11 (35) 1-12. p.

KATAYAMA, K., CHIN, K. B., YOSHIBARA, S., MUGURUMA, M. (2006): Microbial transglutaminase improves the properties of meat protein and sausages texture manufactured with low-quality pork loin. In: *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 19 102–108.

KAWAHARA, S., AHMED, A. M., OHTA, K., NAKADE, K., MUGURUMA, M. (2007): Inconsistency in the Improvements of Gel Strength in Chicken and Pork Sausages Induced by Microbial Transglutaminase. In: *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20 (8) 1285–1291. p.

KESSLER, H. G. (1996): Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik – Molkereitechnologie, In: A Kessler, München.

KIELISZEK, M., MISIEWICZ, A. (2014): Microbial transglutaminase and its application in the food industry. A review. In: *Folia Microbiologica (Praha)*, 59 (3) 241–250. p.

KLINE, S. R. (2006): Reduction and analysis of SANS and USANS data using IGOR Pro. In: *Journal of Applied Chrystallography*, 39 895-900. p.

KONCZ, K. (1992): A viszkozimetriás állománymérés alkalmazási lehetőségei a hűtőiparban. Doktori (Ph.D.) értekezés. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem

KONCZ, K., PÁSZTORNÉ-HUSZÁR, K., HORTI, K., DALMADI, I. (2005): Félkemény tehén- és kecskesajtok állományának vizsgálata. In: LIPPAY JÁNOS-ORMOS IMRE-VAS KÁROLY TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK (2005) (Budapest).

KONCZ, K., HORTI, K., DALMADI, I., PÁSZTORNÉ-HUSZÁR, K., KADARKÚTI, P. (2006): Tárolási körülmények hatása különböző csomagolású Trappista sajtok minőségére. *Műszaki Kémiai Napok '06*.

KONCZ, K., SÁRI, Cs., CSAPÓ, A., HORTI, K., PÁSZTOR-HUSZÁR, K. (2009): Adalékanyagok nélküli energiaszegény joghurtok előállításának lehetőségei. In: *Élelmiszerlánc-Innováció az egészségért BCE-ÉTK Tudományos Nap, (5) (2009) (Budapest)*

KOVÁCS, Á., ZSARNÓCZAY, G. (2007): A transzglutamináz (TG) enzim húsipari alkalmazása. In: *17. HÚSIPARI TUDOMÁNYOS NAPOK. (2007) (Budapest)*

KURAIISHI, C., YAMAZAKI, K., SUSA, Y. (2001): Transglutaminase: its utilization in the food industry. In: *Food Reviews International*, 17 221–246. p.

KURAIISHI, C., SAKAMOTO, J., YAMAZAKI, K., SUSA, Y., KUHARA, C., SOEDA, T. (1997): Production of restructured meat using microbial transglutaminase without salt or cooking. In: *Journal of Food Science*, 62 488–490. p.

KÜTEMEYER, C., FROECK, M., WERLEIN, H.-D., WATKINSON, B. M. (2005): The influence of salts and temperature on enzymatic activity of microbial transglutaminase. In: *Food Control*, 16 735–737. p.

LANGSTON, J., BLINKOVSKY, A., BYUN, T., TERRIBLINI, M., RANSBARGER, D., XU, F. (2007): Substrate Specificity of Streptomyces Transglutaminases. In: *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 136 291–308. p.

LANTTO, R., PLATHIN, P., NIEMISTÖ, M., BUCHERT, J., AUTIO, K. (2006): Effects of transglutaminase, tyrosinase and freeze-dried apple pomace powder on gel forming and structure of pork meat. In: *LWT - Food Science and Technology*, 39 (10) 1117–1124. p.

LAWRENCE, W., SCHOENL, M., DAVIS, P. (1989): Stimulation in vitro of rabbit erythrocyte cytosol phospholipid-dependent protein kinase activity. In: *Journal of Biological Chemistry*, 264 4766–4768. p.

LEE, Y. M., CHIN, K. B. (2012): Effects of Phosphate Addition Alone or in Combined with Dipping in Trisodium Phosphate Solution on Product Quality and Shelf-life of Low-fat Sausages during Refrigerated Storage. In: *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 32 (1) 84-90.

- LEHMANN, H., WASEN, I. (1991): Method of dephospholipidating whey. Amerikai szabadalom. Szabadalom száma: US 4897279 A
- LEN, A., FÜZI, J., DARNAY, L., HARMAT, P., KONCZ, K., ROSTA, L. (2014): Nanoszerkezet-vizsgálat kisszögű neutronszórással. In: *Fizikai Szemle*, 64 (1) 9–13. P.
- LESZCZYŃSKA, J., ŁĄCKA, A., BRYZEWSKA, M. (2006): The use of transglutaminase in the reduction of immunoreactivity of wheat flour. In: *Food and Agricultural Immunology*, 17 105–113. P.
- LIU, G., XIONG, Y. L., BUTTERFIELD, D. A. (2000): Chemical, physical, and gel-forming properties of oxidized myofibrils and whey- and soy-protein isolates. In: *Journal of Food Science*, 65 811–818. p.
- LORAND, L., CAMPBELL, L. K. (1971): Transamidating Enzymes. In: *Analytical Biochemistry*, 44 207–231. p.
- LORENZEN, P.C., MAUTNER, A., SCHLIMME, E. (1999): Auswirkung der enzymatischen Quervernetzung von Milchproteinen auf die resultierenden Eigenschaften von Joghurtherzeugnissen. In: *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*, 51 89–97. p.
- LORENZEN, P. C., MAUTNER, A., NEVE, H., SCHLIMME, E. (2002): Auswirkungen der enzymatischen Quervernetzung von Milcheiweiß auf die Eigenschaften von Speisequark und auf die Quarkausbeute/Effect of enzymatic crosslinking on quarg properties and quarg yield. In: *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*, 54 125–135. p.
- LORENZEN, P. C. (2006): Eigenschaften fermentierter Milcherzeugnisse aus Transglutaminase-behandelter Milch. In: *Dmz: Aus Technik und Wissenschaft*, 9 20–26. p.
- LOSÓ, V., TÓTH, A., GERE, A., HESZBERGER, J., SZÉKELY, G., KÓKAI, Z., SIPOS, L. (2012) Methodology problems of the industrial preference mapping. In: *Acta Alimentaria* (41) 109-119. p.
- LOWRY, O. H., ROSENBROUGH, N. J., FARR, A. L., RANDALL, R. J. (1951): Protein measurement with the Folin phenol reagent. In: *Journal of Biological Chemistry*, 193 265-275. p.
- LU, S. Y., ZHOU, N. D., TIAN, Y. P., LI, H. Z., CHEN, J. (2003): Purification and properties of transglutaminase from *Streptovorticillium mobaraense*. In: *Journal of Food Biochemistry*, 27 109-125. p.
- MACEDO, J A., CAVALLIERI, A. L. F., DA CUNHA, R. L., SATO, H. H. (2010): The effect of transglutaminase from *Streptomyces* sp. CBMAI 837 on the gelation of acidified sodium caseinate. In: *International Dairy Journal*, 20 673–679. p.
- MACIERZANKA, A., BORDRON, F., RIGBY, N. M., MILLS, E.N. C., LILLE, M., POUTANEN, K., MACKIE A., R. (2011): Transglutaminase cross-linking kinetics of sodium caseinate is changed after emulsification. In: *Food Hydrocolloids*, 25 (5) 843–850. p.

- MÁRIÁSS, M. (2013): Lisztérzékenység, <http://www.50plusz.hu/services/betegseglexikon>
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: lisztérzékenység Máriáss. Lekérdezés időpontja: 2014.04.20.
- MARINIELLO, L., GIOSAFATTO, C. V. L., DI PIERRO, P., SORRENTINO, A., PORTA, R. (2010): Swelling, mechanical, and barrier properties of albedo-based films prepared in the presence of phaseolin cross-linked or not by transglutaminase. In: *Biomacromolecules*, 11 2394–2398. p.
- MEISTER, A., TATE, S. S., GRIFFITH, O. W. (1981): Gamma-glutamyl transpeptidase. In: *Methods Enzymology*, 77 237–253. p.
- MILANOVIĆ, S., CARIC, M., ĐURIC, M., ILIČIĆ, M., DURAKOVIĆ, K. (2007): Physico-chemical properties of probiotic yoghurt produced with transglutaminase. In: *Acta Periodica Tehnologica*, 38 45–52. p.
- MILKOWSKI, A. L., SOSONICKI A. A. (1999): Method for treating PSE meat with transglutaminase. Amerikai szabadalom. Szabadalom száma: US 5928689 A
- MITUNIEWICZ-MALEK, A., ZIARNO, M., DMYTRÓW, I. (2014): Short communication: incorporation of inulin and transglutaminase in fermented goat milk containing probiotic bacteria. In: *Journal of Dairy Science*, 97 (6) 3332-8. p.
- MODERNIST PANTRY (2016): Activa YG Transglutaminase. <http://www.modernistpantry.com/activa-yg-transglutaminase.html> Keresőprogram: Google, Kulcsszavak: Modernist Pantry, Activa YG. Lekérdezés időpontja: 2016.05.21.
- MORISON, K. R. (1997): Cheese manufacture as a separation and reaction process. In: *Journal of Food Engineering*, 32 (2) 179–198. p.
- MOTOKI, M., SEGURO, K. (1998): Transglutaminase and its use for food processing. In: *Trends in Food Science & Technology*, 9 204–210. p.
- MOTOKI, M., KUMAZAWA, Y. (2000): Recent Research Trends in Transglutaminase Technology for Food Processing. In: *Food Science and Technology Research*, 6 (3) 150–160. p.
- MUGURUMA, M., TSURUOKA K., KATAYAMA K., ERWANTO Y., KAWAHARA, S., YAMAUCHI, K., SATHE, S. K., SOEDA, T. (2003): Soybean and milk proteins modified by transglutaminase improves chicken sausage texture even at reduced levels of phosphate. In: *Meat Science*, 63 191–197. p.
- MÜLLER, K. (2010): Enzymatische Proteinquervernetzung von Milchproteinkonzentraten. Diplomadolgozat. Darmstadti Főiskola, Darmstadt.
- NAGY, V., SZAKACS, G. (2008): Production of transglutaminase by *Streptomyces* isolates in solid-state fermentation. In: *Letters in Applied Microbiology*, 47 122–127. p.
- NUERNBERG ROSSA, P., DE SÁ, E. M. F., BURIN, V. M., BORDIGNON-LUIZ, M. T. (2011): Optimization of microbial transglutaminase activity in ice cream using response. In: *LWT - Food Science and Technology*, 44 (1) 29–34. p.

NUTRAMEAT (2008): EC-Contract n°COOP CT-2005-17554, European Commission Cooperative Research Project: “Development of new nutraceutical meat products-NUTRAMEAT. http://cordis.europa.eu/docs/publications/1214/121406961-6_en.pdf. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: nutrameat, report summary. Lekérdezés időpontja: 2016.04.03.

OÉTI (2016): Élelmiszerekre vonatkozó általános jogszabályok – Élelmiszerenzimek. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ZKQvElfefyMJ:www.oeti.hu/%3Fmid%3D15%26m2id%3D25%26m3id%3D113+&cd=3&hl=hu&ct=clnk&gl=hu&client=firefox-b-ab>

Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: élelmiszerenzimek, EU. Lekérdezés időpontja: 2016.09.12.

OHKI Archív, (2016): A hús szerepe a táplálkozásban, http://www.ohki.hu/ohki_archivum/hus_es_egeszseg/index.htm

Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: hús szerepe. Lekérdezés időpontja: 2016.05.12.

OZER, B., KIRMACI, H. A., OZTEKIN, S., HAYALOGLU, A., ATAMER, M. (2007): Incorporation of microbial transglutaminase into non-fat yogurt production. In: *International Dairy Journal*, 17 199–207. p.

PAARDEKOOOPER, E. J. C., WIJNGAARDS, G. (1986): Composite meat product and method for the manufacture thereof. Európai szabadalom. Szabadalom száma: 0201975 B1.

PARK, S-Y., KIM, H-Y. (2016): Effects of NaCl Concentration on Physicochemical Properties of Pork Emulsion. In: *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 45 (4) 551–556. p.

PARTSCHEFELD, C., SCHREINER, J., SCHWARZENBOLZ, U., HENLE T. (2009): Studies on Enzymatic Crosslinking of Casein Micelles. In: *Czech Journal of Food Sciences*, 27 99-S101. p.

PASTERNAK, R., LAURENT, H-P., RÜTH, T., KAISER, A., SCHÖN, N., FUCHSBAUER, H-L. (1997): A Fluorescent Substrate of Transglutaminase for Detection and Characterization of Glutamine Acceptor Compounds. In: *Analytical Biochemistry*, 249 54-60. p.

PEDERSEN, M. H., HANSEN, T. K., STEN, E., SEGURO, K., OHTSUKA, T., MORITA, A., BINDSLEV-JENSEN, C., POULSEN, L. K. (2004): Evaluation of the potential allergenicity of the enzyme microbial transglutaminase using the 2001 FAO/WHO Decision Tree. In: *Molecular Nutrition & Food Research*, 48 (6) 434-40. p.

PEREZ-PAYA, E., BRACO, L., ABAD, C., DUFOURCQ, J. (1991): High-performance liquid chromatographic separation of modified and native melittin following transglutaminase-mediated derivatization with a dansyl fluorescent probe. In: *Journal of Chromatography*, 548 351-359. p.

PIETRASIK, Z., LI-CHAN, E.C.Y. (2002): Response surface methodology study on the effects of salt, microbial transglutaminase and heating temperature on pork batter gel properties. In: *Food Research International*, 35 387–396. p.

- POLAINA, J., MACCABE, A.P. (2007): *Industrial Enzymes*. Springer (Valencia) 567, 568, 571-575. p.
- POLGÁR, V., KOVÁCS, Á., SZIGETI, J., (2010): Az alapanyag-tej transzglutamináz enzimmel kezelésének hatása félkemény sajtok gyártására. In: *Tejgazdaság*, 1-2 23– 29. p.
- PUOLANNE, E. J., RUUSUNEN, M., H., VAINIONPÄÄ, J. I. (2001): Combined effects of NaCl and raw meat pH on water-holding in cooked sausage with and without added phosphate. In: *Meat Science*, 58 1–7. p.
- RAAK, N., DARNAY, L., BRANDT, J., BOYE, S., LEDERER, A., ROHM, H., DORIS, J. (2014): Cross-linking affects rearrangement in acid casein gels: Evaluation of acidification conditions. The Nordic Rheology Conference Aug 13–14, 2014., Reykjavik, Iceland. In: *Annual transactions of Nordic Rheology Society*. 22, 109–114. p.
- RAUSCHENBACH, K. (2008) Proteaseinhibitoren von *Streptomyces mobaraensis*: Reinigung und Charakterisierung. diplomamunka, készült: Darmstadti Főiskola, Kémia és Biotechnológia Tanszék
- RAMÍREZ, J. A., ÁNGEL, A. D., VELAZQUEZ, G., VÁZQUEZ, M. (2006): Production of low-salt restructured products from Mexican flounder (*Clyclosetta chittendeni*) using microbial transglutaminase or whey protein concentrate as binders. In: *European Food research Technology*, 223 341–345. p.
- ROHENKOHL, H., MECHELHOFF, A. (2006): Optimierung der Wasserbindungseigenschaften von Caseinen. AiF 13434 N und der Hitzestabilität von Molkenproteinen durch physikalisch-enzymatische Verfahren. www.fei-bonn.de/download/aif-13434-n.projekt. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Wasserbindungseigenschaften von Caseinen. Lekérdezés időpontja: 2015.11.15.
- ROMEIH, E.A., ABDEL-HAMID, M., AWAD, A.A. (2014): The addition of buttermilk powder and transglutaminase improves textural and organoleptic properties of fat-free buffalo yoghurt. In: *Dairy Science and Technology*, 94 297–309. p.
- ROMERO DE ÁVILA, M. D., ORDÓÑEZ, J. A., DE LA HOZA, L., HERRERO, A. M., CAMBERO, M. I. (2010): Microbial transglutaminase for cold-set binding of unsalted/salted pork models and restructured dry ham. In: *Meat Science* 84 747–754. p.
- ROSSA, P. N., DE SÁ, E. M. F., BURIN, V. M., BORDIGNON-LUIZ, M. T. (2011): Optimization of microbial transglutaminase activity in ice cream using response. In: *LWT - Food Science and Technology*, 44 (1) 29–34. p.
- SAKAMOTO, H., KUMAZAWA, Y., MOTOKI, M. (1994): Strength of Protein Gels Prepared with Microbial Transglutaminase as Related to Reaction Conditions. In: *Journal of Food Science*, 59 866–871. p.
- ŞANLI, T., SEZGIN, E., DEVECI, O., ŞENEL, E., BENLI, M. (2011): Effect of using transglutaminase on physical, chemical and sensory properties of set-type yoghurt. In: *Food Hydrocolloids*, 25 1477–1481,

SANTOS, M., TORNÉ, J. M. (2009): Recent patents on transglutaminase production and applications. In: *Recent patents on biotechnology*, 3 (3) 168–172. p.

SÁRI, Cs., KONCZ, K., GUYOT, C. (2007): A transzglutamináz enzim állománymódosító hatása a tejfehérjékből készült gélek és habart állományú sovány joghurtok esetében. Diplomadolgozat, Budapesti Corvinus Egyetem, Hűtő és Állattermék Technológiai Tanszék, Budapest.

SCHÄFER, T. (2013): *Enzymatically Texturized Plant Proteins for the Food Industry. Product Design and Engineering: Formulation of Gels and Pastes*, Wiley-VCH Verlag GmbH & c. KgaA, Weinheim, Németország, 171. old

SCHEY, A. (2003): Texture improvement of fermented dairy products by cross-linking with transglutaminase. IDF seminar on aroma and texture of fermented milk, Kolding Denmark, 371-375. p.

SEGURO, K. (1995): ϵ -(γ -Glutamyl) lysine:Hydrolysis by γ -Glutamyltransferase of Different Origins, When Free or Protein Bound. In: *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 43 1977–1981. p.

SEIDEL, V., LINDNER, W. (1993): Universal sample enrichment technique for organochlorine pesticides in environmental and biological samples using a redesigned simultaneous steam distillation-solvent extraction apparatus. In: *Analytical Chemistry*, 65(24) 3677–3683. p.

SERRANO, A., COFRADES, S., COLMENERO, F. J. (2004): Transglutaminase as binding agent in fresh restructured beef steak with added walnuts. In: *Food Chemistry*, 85 423–429. p.

SHIN, M., GANG, D. O., SONG, J. Y. (2010): Effects of protein and transglutaminase on the preparation of gluten-free rice bread. In: *Food Science and Biotechnology*, 19 951-956. p.

SIPOS, L. (2009): Ásványvízfogyasztási szokások elemzése és ásványvizek érzékszervi vizsgálata. Doktori (Ph.D.) értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem

SIPOS, L., KOVÁCS, Z., SÁGI-KISS, V., CSIKI, T., KÓKAI, Z., FEKETE, A., HÉBERGER, K. (2012): Discrimination of mineral waters by electronic tongue, sensory evaluation and chemical analysis. In: *Food Chemistry*, 135 2947–2953. p

ŠOKEC, D., ČORIĆ, D., TONKOVIĆ, K., KOS, B., GREGUREK, L., ŠUŠKOVIĆ, J. (2007): Effects of transglutaminase enzyme on properties of set probiotic yoghurt. Milk and dairy products Conference, 2007. 10.05-06., Újvidék (Novi Sad), Szerbia. <http://bib.irb.hr/prikazirad?rad=330028>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Lactobacillus acidophilus, transglutaminase, yogurt. Lekérdezés időpontja: 2016. 11.14.

SONG, Y. C., SHENG, D., TAUBENFELD, S. M., MATSUEADA, G. R. (1994): A microtiter assay for factor XIII using fibrinogen and biotinylcadaverine as substrates. In: *Analytical Biochemistry*, 223 88–92. p.

STANIC, D, MONOGIOUDI, E., DILEK, E., RADOSVLJEVIC, J., ATANASKOVIC-MARKOVIC, M., VUCKOVIC, O., RAIJA, L., MATTINEN, M., BUCHERT, J., CIRKOVIC

- VELICKOVIC, T. (2010): Digestibility and allergenicity assessment of enzymatically crosslinked beta-casein. In: *Molecular Nutrition & Food Research*, 54 (9) 1273-84. p.
- STOP SÓ (2009): Kereskedelmi forgalomból származó élelmiszerek sótartalma (NaCl) [g/100g], <http://www.stopso.eu/download/sotartalomotifelmeres.pdf>
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: élelmiszerek sótartalma. Lekérdezés időpontja:
- SUN, X. D., (2009): Utilization of restructuring technology in the production of meat products: a review. In: *CyTA – Journal of Food*, 7 (2) 153-162. p.
- SUZUKI, M., DATE, M., YOKOYAMA, K. (2012): Thermotolerant transglutaminase originating in actinomycetes. Európai szabadalom. Szabadalom száma: EP 2 404 999 A1: 2
- SUZUKI, S., IZAWA, Y., KOBAYASHI, K., ETO, Y., YAMANAKA, Y., KUBOTA, K., YOKOZEKI, K. (2000): Purification and characterization of novel transglutaminase from *Bacillus subtilis* spores. In: *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 64 2344–2351. p.
- SZEKRÉNYES, A. (2011): Vajkrémek és fagyasztással tartósított vajkrémek vizsgálata különböző állománymérési módszerekkel. Szakdolgozat. Budapesti Corvinus Egyetem
- TROUT, G R, SCHMIDT, G R. (1984): Effect of phosphate type and concentration, salt level and method of preparation on binding in restructured beef rolls. In: *Journal of Food Science*, 49, 687-694. p.
- UMEZAWA, Y., YOKOYAMA, K., KIKUCHI, Y., DATE, M., ONISHI, N. (2003a): Process for producing microbial transglutaminase – Szabadalom: WO 2004078973 A1
- UMEZAWA, Y., YOKOYAMA, K., KIKUCHI, Y., DATE, M., ONISHI, N. (2003a): Process for producing microbial transglutaminase – Szabadalom: EP 1602722 B1
- VÉN Cs. (2010): A marhahús érésének vizsgálata, az érlelési technológia fejlesztése. Doktori (Ph.D.) értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem
- VUJIČIČ, I., VUJIČIČ, V. (1975): Some chemical and physical properties of Yugoslav trappists In: *Mljekarstvo*, 25 (10) 220–226. p.
- WANG, P., XU, X-I., ZHOU, G-H. (2009): Effects of Meat and Phosphate Level on Water-Holding Capacity and Texture of Emulsion-Type Sausage. During Storage In: *Agricultural Sciences in China*, 8 (12) 1475–1481. p.
- WALEED, A. M., NAWAL, H. S. (2009): Effect of microbial transglutaminase treatment on soft cheese properties. In: *Mesopotamia Journal of Agrifculture*, 37 (4) 1–9. p.f
- WILCOX, C.P., SWAISGOOD, H. E. (2002): Modification of the rheological properties of whey protein isolate through the use of an immobilized microbial transglutaminase. In: *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50 5546–5551. p.
- WROBLEWSKA, B., KALISZEWSKA, A., KOŁKOWSKI, P., PAWLIKOWSKA, K., TROSZYNSKA, A. (2010): Impact of transglutaminase reaction on the immunoreactive and sensory quality of yoghurt starter. In: *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27 215–227. p.

WYSZECKI, G., STILES, W. S. (2000): Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2nd Edition, 968 p.

YANG, M. T., CHANG, C. H., WANG, J. M., WU, T. K., WANG, Y. K., CHANG, C. Y., LI, T. T. (2011): Crystal structure and inhibition studies of transglutaminase from *Streptomyces mobaraense*. In: *Journal of Biology and Chemistry*, 286 (9) 7301-7. p.

YETIM, H., KAYACIER, A., KESMEN, Z., SAGDIC, O. (2006): The effect of nitrite on the survival of *Clostridium sporogenes* and the autooxidation properties of the Kavurma. *Meat Science*, 72 (2) 206–210. p.

YIANG, S-T., JIN, L-J. (2001): Application of Transglutaminase in seafood and meat processings. In: *Journal of Fish Science Taiwan*, 28 (3) 151–162. p.

YOKOYAMA, K., NIO, N., KIKUCHI, Y. (2004): Properties and applications of microbial transglutaminase. In: *Applied Microbiology Biotechnology*, 64 447–454. p.

YOKOYAMA, K., UTSUMI, H., NAKAMURA, T., OGAYA, D., SHIMBA N., SUZUKI, E., TAGUCHI, S. (2010): Screening for improved activity of a transglutaminase from *Streptomyces mobaraensis* created by a novel rational mutagenesis and random mutagenesis. In: *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87 2087–2096. p.

YÜKSEL, Z., ERDEM, Y.K. (2010). The influence of transglutaminase treatment on functional properties of set yoghurt. In: *International Journal of Dairy Technology*, 63, 86–97. p.

ZOTZEL, J., PASTERNAK, R., PELZER, C., ZIEGERT, D., MAINUSCH, M., FUCHSBAUER, H.-L. (2003): Activated transglutaminase from *Streptomyces mobaraensis* is processed by a tripeptidyl aminopeptidase in the final step. In: *European Journal of Biochemistry*, 270 4149-4155. p.

ZHANG, D., ZHU, Y., CHEN, J. (2009): Microbial Transglutaminase Production: Understanding the Mechanism. In: *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 26 (1) 205–222. p.

ZHANG, L., YI, H., DU, M., MA, C., HAN, X., FENG, Z., JIAO, Y., ZHANG, Y. (2012): Enzymatic characterization of transglutaminase from *Streptomyces mobaraensis* DSM 40587 in high salt and effect of enzymatic cross-linking of yak milk proteins on functional properties of stirred yogurt. In: *Journal of Dairy Science*, 95 (7) 3559-68. p.

ZHU, Y., RIZEMAN A, TRAMPER, J., BOL, J.(1995): Microbial transglutaminase—a review of its production and application in food processing. In: *Applied Microbiology and Biotechnology*, 44 277–282. p.

ZSARNÓCZAY, G. (2011): Nitritmennyiségek hatásának vizsgálata húskészítményekben = Effect of different nitrite-concentrations in meat products. Doktori (Ph.D.) értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Doktori Iskola.

M2.

Érzékszervi bírálati lapok**Pohárban alvasztott natúr joghurt állomány profil analízise**Bírálat menete:**0. Adatok megadása**

Kérem írja föl a dátumot és adja meg nevét. Az adatokat bizalmasan kezelem.

1., Állomány vizsgálata

A bírálatvezető kiskanalat húzz végig félig a joghurtba merítve.

Figyelje, hogy törik meg a felület!

Folyós: Az elhúzott réteg visszafolyik.

Májas állomány: Porcelánosan törik a felszín, a keletkezett üreg határvonalai élesek.

2., Savó kiválás mennyisége és színe

Figyelje meg a keletkező üregben megjelenő savó jellegét, azaz a savó mennyiségét és színét!

3., Kanalazhatóság

A bírálatvezető kanalaz a joghurtból, majd visszacsúsztatja a kikanalazott mennyiséget a pohárba.

Figyelje meg, hogy mennyire marad meg a kanál nyoma a joghurtban, a kikanalazott mennyiség hogy tartja magát a kiskanálban, hogy csúszik le róla.

Nehezen kanalazható: A kivett joghurt mennyiség nem látszik a pohárban, a kikanalazott darab lefolyik a kanálról.

Jól kanalazható: A kanállal kiemelt darab helye élesen látható a felületen, a kanálban lévő adag tartja az alakját, kissé tapad, de le is válik. A kiszedett adag megőrzi formáját a pohárba való visszacsúsztatáskor is.

4., Állomány kanállal keverve

Várja meg, amíg a bírálatvezető egy kiskanálnyi mennyiséget tesz az Önnek készített kis főzőpohárba!

Az odakészített keverőpálcákkal keverje meg alaposan a kapott mintát és értékeljen a következők szerint:

Csomós: Keverést követően a joghurtban jellegzetes apró szemcsék, csomók maradnak, melyek heterogén jelleget kölcsönöznek a terméknek.

Sima, krémes: Elkeverést követően a joghurt sima, krémes és homogén képet mutat.

5., Megjegyzések

Amennyiben egyéb állományjellemzőt figyelt meg illetve bármilyen megjegyzése, észrevétele van a mintával kapcsolatban kérem írja le, ezzel hozzájárulhat a bírálati módszer pontosításához és fejlesztéséhez!

Dátum:
Bíráló:

Állomány

Folyós

 Májás állományú

Nehezen kanalazható

 Jól kanalazható

Savókiválás túl sok

 Savókiválás nincs

Savókiválás tejszerű

 Savókiválás savószerű

Állomány kanállal keverve

Csomós

 Sima, krémes

Megjegyzések:

Joghurt különbségvizsgálaton alapuló érzékszervi bírálata

Referencia minta = 0

Név:

Dátum:

Kérem, hogy a bírálati lapon karikázza be a mintának megfelelő számot. Az értékeléskor mindig a referenciához viszonyítson.

5	Kiugróan erősebb
4	Jóval erősebb
3	Határozottan érezhetően erősebb
2	Kissé erősebb
1	Alig érezhetően erősebb
0	A referencia mintával azonos
-1	Alig érezhetően gyengébb
-2	Kissé gyengébb
-3	Határozottan érezhetően gyengébb
-4	Jóval gyengébb
-5	Kiugróan gyengébb

Szín

Sárgás szín	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Csontfehér szín
-------------	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	-----------------

Illat

Nem joghurtra jellemző illat	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Joghurtra jellemző, aromás
Idegen illat	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Idegen illattól mentes

Íz

Kellemetlenül savanyú	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Kellemesen savanykás íz
Idegen íz érezhető	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Nem érezhető idegen íz

Állomány

Folyós	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Májas állományú
Nehezen kanalazható	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Könnyen/jól kanalazható
Savó kiválás túl sok	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Savó kiválás és nincs
Savó kiválás tejszerű (fehér)	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Savó kiválás savószerű (sárgás)
Keverés után csomós	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Keverés után sima, krémes

Összbenyomás

Elutasítom	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Kedvelem
------------	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	----------

Megjegyzések:

Bírálati lap tehéntúrók bírálatához

Érzékszervi tulajdonságok	Adható pontok	Magyarázat (hibák)
Külső	kiváló (15)	egyenletesen csont-fehér színű
	megfelelő (10)	jellegetestől kissé eltérő, de egyenletes színű
	kissé hibás (5)	jellegetestől mérsékelten eltérő színű, esetleg kissé foltos
	hibás (0)	eltérő színű, foltos, szennyezett, penészes
Illat	kiváló (15)	kellemesen savanykás, jellegzetes, tiszta
	megfelelő (10)	kevésbé jellegzetes, kissé üres, főtt
	kissé hibás (5)	savanykás, jellegtelen, üres, enyhén élesztős
	hibás (0)	erősen savanyú, kifejezetten élesztős, fülledt, szaghibás
Íz	kiváló (50)	kellemesen savanykás, jellegzetes, tiszta
	jó (40-45)	kellemesen savanykás, kevésbé zamatos, kissé üres, de tiszta
	megfelelő (15-40)	enyhén savanyú, üres ízű, nem jellemző
	kissé hibás (5-15)	kissé savanyú, enyhén ízhibás, nem jellemző, kesernyés, ill. malátás
	hibás (0)	ecetesen savanyú, ízhibás, fanyar, erjedt
Állomány	kiváló (20)	laza rögökben összeálló, esetleg gyengén savóeresztő
	megfelelő (15)	kissé száraz, kissé fojtós, gyengén savóeresztő
	kissé hibás (10-5)	száraz, fojtós, morzsálódó, savóeresztő
	hibás (0)	erősen fojtós, erősen morzsálódó, erősen savóeresztő

Erjedési lyukas félkemény sajtok bírálati szempontjai

Érzékszervi tulajdonságok	Adható pontok	Magyarázat (hibák)
Külső*	kiváló (15)	A fólia sértetlen, a sajt kéreg nélküli, enyhén nyirkos tapintású
	megfelelő (10)	A fólia kissé gyűrött, a sajt felületén kisebb foltok, sötétebb színű
	kissé hibás (5)	A fólia gyűrött, a sajt felülete egyenetlen, kisebb foltok, enyhe nyálka
	hibás (0)	A fólia szakadt, a sajt felülete gyűrött, penészes, nyálkás
Belső szín	megfelelő (15)	Egyenletesen halványsárga színű (egy-két kultúra folt megengedett)
	kissé hibás (10-5)	Zöldessárga vagy enyhén szürkés sárga, több kultúra folt látható
	hibás (0)	Krétafehér vagy szürkés sárga, illetve foltos, kettős színeződésű
Illat	kiváló (15)	Jellegzetesen aromás, telt, savanykás
	megfelelő (10)	Kevésbé jellegzetes, nem elég karakteres
	kissé hibás (5)	Savanyú, üres, enyhén tisztátlan, enyhén csípős, enyhén élesztős
	hibás (0)	Fanyar, bűzös, dohos, csípős, erősen szaghibás
Íz	kiváló (25)	Jellegzetesen zamatos, enyhén sós, savanykás, a zsíros teltebb ízű
	jó (20)	Kevésbé jellegzetes, kissé sótlan vagy túl sós, enyhén kesernyés
	megfelelő (15)	Enyhén savanyú, üres ízű, nem elég jellemző
	kissé hibás (10-5)	Kissé fanyar, kesernyés, csípős, sótlan vagy túl sós
	hibás (0)	Éretlen, fanyar, keserű, élesztős, émelyítő, avas
Állomány	kiváló (15)	Képlékeny, rugalmas, jól szeletelhető, szájban elomló
	megfelelő (10)	Kissé száraz, gyengén pépes, darás, szájban kevésbé elomló
	kissé hibás (5)	Kissé gumis, enyhén rágós, darás, enyhén pépes, száraz
	hibás (0)	Morzszálódó, száraz, gumis, pépes, ragacsos, rágós, kenőcsös
Lyukazottság	kiváló (15)	A metszés lapon egyenletes eloszlású 3-4 mm ϕ , kerek erjedési lyuk
	megfelelő (10)	A jellegzetesnél kevesebb, vagy több lyuk, a kéreg alatt több apró lyukkal
	kissé hibás (5)	Egyenlőtlen lyukeloszlás, kevés erjedési lyuk, vagy csak röglyukak, kisebb repedés
	hibás (0)	Túl lyukas vagy lyuknélküli, puffadt, repedt, szivacsos, savófészkes

Virsli érzékszervi bírálata

Referencia minta = 0

Név:

Dátum:

Kérem, hogy a bírálati lapon karikázza be a mintának megfelelő számot. Az értékeléskor mindig a referenciához viszonyítson.

5	Kiugróan erősebb
4	Jóval erősebb
3	Határozottan érezhetően erősebb
2	Kissé erősebb
1	Alig érezhetően erősebb
0	A referencia mintával azonos
-1	Alig érezhetően gyengébb
-2	Kissé gyengébb
-3	Határozottan érezhetően gyengébb
-4	Jóval gyengébb
-5	Kiugróan gyengébb

Szín:

Világos	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Sötét
---------	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	-------

Illat:

Nincs füstölt illat												Füstölt illat
Idegen illat	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Idegen illattól mentes

Íz:

Sótlan												Sós
Idegen íz	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Idegen íztől mentes

Állomány

Nem roppan (virsli harapásakor)	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Roppanós (virsli harapásakor)
Nehezen vágható	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Jól vágható
Heterogén metszésalap	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Homogén metszésalap
Rugalmatlan metszésalap (ujjak között összenyomva)	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Rugalmas metszésalap (ujjak között összenyomva)
Sok légzárvány látható	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Nincs légzárvány

Megjegyzések:

M3.

Statisztikai elemzés

Az enzimkezelés, a mintavétel helye, az enzim időzítése a trappista sajt keménységére

Belső keménység

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
1 vs 0	11,714	2,238	2,021	0,031	Yes
Tukey's d critical value:			2,858		
Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
35 vs 0	82,824	15,821	2,680	< 0,0001	Yes
35 vs 20	55,591	10,619	2,680	< 0,0001	Yes
35 vs 30	51,942	9,922	2,680	< 0,0001	Yes
30 vs 0	30,881	5,899	2,680	< 0,0001	Yes
30 vs 20	3,649	0,697	2,680	0,898	No
20 vs 0	27,232	5,202	2,680	< 0,0001	Yes
Tukey's d critical value:			3,791		

Külső keménység

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
1 vs 0	11,859	2,373	2,021	0,023	Yes
Tukey's d critical value:			2,858		
Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
35 vs 0	51,273	10,261	2,680	< 0,0001	Yes
35 vs 20	33,789	6,762	2,680	< 0,0001	Yes
35 vs 30	28,849	5,774	2,680	< 0,0001	Yes
30 vs 0	22,423	4,487	2,680	0,000	Yes
30 vs 20	4,940	0,989	2,680	0,757	No
20 vs 0	17,483	3,499	2,680	0,006	Yes
Tukey's d critical value:			3,791		

Az enzimkezelés, a mintavétel helye, az enzim időzítése a trappista sajt rugalmasságára

Belső rugalmasság

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
1 vs 0	3,425	10,633	2,021	< 0,0001	Yes
Tukey's d critical value:			2,858		
Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
20 vs 35	1,873	5,815	2,680	< 0,0001	Yes
20 vs 30	0,633	1,966	2,680	0,218	No
20 vs 0	0,348	1,080	2,680	0,703	No
0 vs 35	1,525	4,734	2,680	0,000	Yes
0 vs 30	0,285	0,886	2,680	0,812	No
30 vs 35	1,240	3,849	2,680	0,002	Yes
Tukey's d critical value:			3,791		

Külső rugalmasság

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
1 vs 0	4,119	12,784	2,021	< 0,0001	Yes
Tukey's d critical value:			2,858		
Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
0 vs 20	1,393	4,322	2,680	0,001	Yes
0 vs 35	1,368	4,246	2,680	0,001	Yes
0 vs 30	1,101	3,418	2,680	0,008	Yes
30 vs 20	0,291	0,904	2,680	0,803	No
30 vs 35	0,267	0,828	2,680	0,841	No
35 vs 20	0,025	0,076	2,680	1,000	No
Tukey's d critical value:			3,791		

Az enzimkezelés és a zsírtartalom hatása a trappista sajt keménységére és rugalmasságára

Keménység

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
1 vs 0	8,844	6,085	2,005	< 0,0001	Yes
Tukey's d critical value:			2,835		
Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
2,2 vs 3,2	13,540	5,893	2,822	< 0,0001	Yes
2,2 vs 5	10,612	4,618	2,822	0,000	Yes
2,2 vs 3,5	4,945	2,152	2,822	0,214	No
2,2 vs 2,8	4,536	1,974	2,822	0,292	No
2,8 vs 3,2	9,004	3,918	2,822	0,002	Yes
2,8 vs 5	6,075	2,644	2,822	0,076	No
2,8 vs 3,5	0,409	0,178	2,822	1,000	No
3,5 vs 3,2	8,595	3,740	2,822	0,004	Yes
3,5 vs 5	5,667	2,466	2,822	0,114	No
5 vs 3,2	2,929	1,274	2,822	0,708	No
Tukey's d critical value:			3,991		

Rugalmasság

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
1 vs 0	1,232	4,656	2,005	< 0,0001	Yes
Tukey's d critical value:			2,835		
Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
2,2 vs 3,2	3,608	8,625	2,822	< 0,0001	Yes
2,2 vs 5	2,815	6,729	2,822	< 0,0001	Yes
2,2 vs 2,8	2,023	4,836	2,822	0,000	Yes
2,2 vs 3,5	1,408	3,366	2,822	0,012	Yes
3,5 vs 3,2	2,200	5,259	2,822	< 0,0001	Yes
3,5 vs 5	1,407	3,363	2,822	0,012	Yes
3,5 vs 2,8	0,615	1,470	2,822	0,586	No
2,8 vs 3,2	1,585	3,789	2,822	0,003	Yes
2,8 vs 5	0,792	1,893	2,822	0,333	No
5 vs 3,2	0,793	1,896	2,822	0,332	No
Tukey's d critical value:			3,991		

Az enzimkezelés és érlelési idő hatása a trappista sajt rugalmasságára

1. hét

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
Enzimkezel	4,336	14,613	2,447	< 0,0001	Yes
Tukey's d critical value:			3,46		

2. hét

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
Enzimkezel	0,769	5,896	2,447	0,001	Yes
Tukey's d critical value:			3,46		

3. hét

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
Enzimkezel	2,862	7,162	2,447	0,000	Yes
Tukey's d critical value:			3,46		

4.hét

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
Enzimkezel	0,092	0,154	2,447	0,883	No
Tukey's d critical value:			3,46		

Enzim koncentráció hatása a frankfurti virsli keménységére

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
e4 vs k0	8,195	7,971	2,992	< 0,0001	Yes
e4 vs e0,6	4,362	4,243	2,992	0,003	Yes
e4 vs e1	3,149	3,063	2,992	0,043	Yes
e4 vs e2	2,161	2,102	2,992	0,258	No
e2 vs k0	6,034	5,869	2,992	< 0,0001	Yes
e2 vs e0,6	2,201	2,141	2,992	0,242	No
e2 vs e1	0,988	0,961	2,992	0,869	No
e1 vs k0	5,045	4,908	2,992	0,001	Yes
e1 vs e0,6	1,213	1,180	2,992	0,763	No
e0,6 vs k0	3,833	3,728	2,992	0,010	Yes
Tukey's d critical value:			4,232		

Az enzimkezelés hatása a a frankfurti virsli keménységére a vizsgált pácsó koncentráció tartományban


Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
1 vs 0	5,967	10,155	2,080	< 0,0001	Yes
Tukey's d critical value:			2,941		

Az enzimkezelés hatása a a frankfurti virsli keménységére a vizsgált foszfát koncentráció tartományban

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
1 vs 0	4,843	8,165	1,986	< 0,0001	Yes
Tukey's d critical value:			2,808		

M4.

Kereskedelmi enzimmészítmények termékleírása

Page 1/1	PRODUCT SPECIFICATION SHEET	
Revision n° 3		
Date of application : 09/10/09		
Document reference : SPEC ACTIVA YG		

COMMERCIAL NAME : ACTIVA YG		
Description : White powder		
ITEM	SPECIFICATION	METHOD*
Sensory test	Acceptable	Visual
Loss on drying	≤ 4.0 %	MOLESD
Transglutaminase activity	85 – 121 U/g	MOLACTG
Arsenic (as As ₂ O ₃)	≤ 2 mg/kg	MOLAS
Heavy metals (as Pb)	≤ 20 mg/kg	MOLMLT
Total viable count	< 5,000 cfu/g	NF ISO 4833
Thermotolerant bacteria (Mesophilic)	≤ 1,000 cfu/g	MOLSPMES
Coliform bacteria	Negative /g	MOLCOL
<i>Salmonella</i>	Negative /25g	Oxoid Salmonella Rapid Test
* All the methods are available upon request		
INGREDIENTS Lactose, Yeast Extract, Maltodextrin, Vegetable oil and Transglutaminase.		
SHELF-LIFE Twenty eight months from manufacturing date in the original unopened package in cool dry place. Once opened, reseal unused product and store at or below 5 degrees C.		
PACKAGING Individual packaging : 1kg net plastic composite bags which contain oxygen absorbers to maintain product functionality Outer packaging : Carton boxes 10 bags x 1kg		
GENERAL INFORMATION This product conforms to Regulation (EC) n° 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 about the general principles and requirements of food law and Regulation (EC) No 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the hygiene of foodstuffs The factory producing this product has a quality system conforms to EN-ISO 9001 and HACCP standards. Labeling requirement due to allergen labeling legislation (Dir 2003/89/EC): Lactose as milk protein is present (milk and products thereof, included lactose).		

Page 1/1	PRODUCT SPECIFICATION SHEET	
Revision n°3		
Date of application : 21/06/10		
Document reference : SPEC TG-H-NF		

COMMERCIAL NAME : ACTIVA® TG- H - NF

Description : White powder

ITEM	SPECIFICATION	METHOD*
Sensory test	Acceptable	Visual
Loss on drying	≤ 5.0 %	Japanese Standards for Food Additives (Loss on drying test [3g, 105°C for 4 hours])
Transglutaminase activity	32 - 52 U/g	Hydroxamate method [AJI TEST]
Arsenic (as As ₂ O ₃)	≤ 3 mg/kg	Atomic absorption spectrophotometry [AJI TEST]
Heavy metals (as Pb)	≤ 20 mg/kg	Sodium sulfide colorimetry [AJI TEST]
Total viable count	< 3,000 cfu/g	Standard agar medium [Standard Methods of Analysis in Japanese food Safety Regulation]
Thermotolerant bacteria (Mesophilic)	< 300 cfu/g	Standard agar medium [Standard Methods of Analysis in Japanese food Safety Regulation]
Coliform bacteria	negative /g	BGLB agar medium [Standard Methods of Analysis in Japanese food Safety Regulation]
<i>Salmonella</i>	negative /25g	Buffered peptone water [Standard Methods of Analysis in Japanese food Safety Regulation]

* All the methods are available upon request

INGREDIENTS

Maltodextrin, Ammonium Chloride, Transglutaminase

SHELF-LIFE

Eighteen months from manufacturing date in the original unopened package in cool and dry place.

PACKAGING

Individual packaging : 1kg net plastic composite bags which contain oxygen absorbers to maintain product functionality
Outer packaging : Carton boxes 10 bags x 1kg

GENERAL INFORMATION

The factory producing this product has a quality system conforms to EN-ISO 9001 and HACCP standards.
Labeling requirement due to allergen labeling legislation (Dir 2007/68/EC): No allergen present.
French regulation 'Arrêté du 19 octobre 2006' regulates usage and condition of enzymes for food application in case of using this product for French market.



Technical data sheet

DATE: 12/11

PROBIND CH

Code: 000607

GENERAL SPECIFICATIONS:

PARAMETERS	UNITS	SPECIFICATIONS
Transglutaminase activity	EU	40-65
Loss on drying	%	Not more than 10%
Arsenic (As ₂ O ₃)	ppm	Not more than 2
Heavy Metals	ppm	Not more than 20
Total viable counts	ufc/g	Not more than 5000
Thermotolerant bacteria mesophil	ufc/g	Not more than 500
Coliform bacteria	ufc/g	Negative
Salmonella	ufc/g	Absent in 25 grams

Warranty: The details given here are merely intended for information purposes and are in no way legally binding. Consequently we accept no responsibility in the broadest sense of the word for damage that may result from applications based upon this information. Furthermore, this information does not constitute permission to infringe patent and licence rights.

www.bdfingredients.com
YOUR PARTNER IN INNOVATION

2



Technical data sheet

DATE: 12/11

PROBIND CH

Code: 000607

DESCRIPTION:

PROBIND CH is a mix of ingredients designed to improve the physical properties of the milk products. This enzyme comes mixed in milk proteins and lactose

PROBIND CH gives to the final product:

In Cheese:

- Increases final cheese production by up to 15%
- Reduces syneresis

In Yoqhurt:

- Improves the gel strength
- Reduces syneresis
- Reduces solids and stabilizers required
- Increases creaminess
- Aids the elimination of gums and gelatin

More information in the application bulletin.

COMPONENTS:

Milk proteins, lactose, transglutaminase.

DOSAGE:

1 g/L of milk

STORAGE:

Keep close in a dry cool place. Use the product as soon as possible after opening the bag. In case that you don't use all the bag, please tightly reseal the opened bag and keep at below 5 degrees (refrigerate or freeze).

EXPIRY DATE:

12 month from manufacturing date.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni a témavezetőimnek Koncz Kálmánné, dr. nyugalmazott egyetemi docensnek és Dr. Friedrich László, tanszékvezető, egyetemi docensnek, hogy emberi és szakmai támogatásukkal a doktori kutatásaim során mellettem álltak és pártfogoltak.

Köszönettel tartozom az összes témámban segítő egykori és jelenlegi tanszéki kollégának, különösen Horti Krisztinának, Pásztorné dr. Huszár Klárának, dr. Zeke Ildikónak és Csukáné Nemes Mártának, hogy szakértelmükkel számtalan alkalommal segítségemre voltak a megtervezett kísérletek kivitelezésében és értékelésében.

Nagy lendületet adott a kutatásaim alatt, hogy az Élelmiszertudományi Kar más tanszékeinek dolgozóira is számíthattam, így ezúton köszönetemet fejezem ki Dr. Firtha Ferencnek (Fizika- és Automatika Tsz.), dr. Dernovics Mihálynak (Alkalmazott Kémia Tsz.), dr. Koris Andrásnak (Élelmiszeripari Műveletek Tsz.), dr. Gere Attilának (Érzékszervi Laboratórium), Komlós Gábornak, Friedrich Ivanics Juditnak, dr. Juhász Rékának (Konzervtechnológiai Tsz.).

Köszönöm a Kertészettudományi Karhoz tartozó Borászati Tanszék egykori és mostani dolgozóinak, különös tekintettel dr. Kállay Miklósnak és dr. Pásti Györgynek, hogy a sajtok érzékszervi bírálatokor mindig készségesen rendelkezésre álltak.

Köszönöm Dr. Len Adélnek, hogy időt és fáradságot nem kímélve segített a kisszögű neutronszórás vizsgálatok elvégzésében és értékelésében.

Köszönöm a németországi kutatásaimat felügyelő prof. dr. Doris Jarosnak és Norbert Raaknak (Drezdai Műszaki Egyetem, Élelmiszertchnológiai és Biotechnológiai Intézet), valamint prof. dr Hans-Lothar Fuchsbauernek, (Darmstadti Főiskola, Kémia és Biokémia Tanszék) valamint Johannes Webernek (Zedira) hogy legjobb tudásuk szerint segítettek abban, hogy az enzimaktivitás mérés ottani közvetett és közvetlen módszereit megismerjem, elsajátítsam és megfelelően alkalmazni tudjam.

Köszönettel tartozom a transzglutamináz enzimkészítményeket ingyen rendelkezésemre bocsátó cégeknek, így a Barentz Hungary Kft-nek és a BDF Ingredients-nek.

Külön köszönetet mondok a szüleimnek és a bátyámnak, akik tudományos munkám alatt végig ösztönöztek, és támogattak.