



Élelmiszertudományi Kar

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

A marhahús érésének vizsgálata, az érlelési technológia fejlesztése

**Készítette:
Vén Csilla**

**Témavezető
Dr. Balla Csaba egyetemi docens**

**Készült a Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Karának
Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszékén**

Budapest, 2010

TARTALOMJEGYZÉK

RÖVIDÍTÉSEK	2
1 BEVEZETÉS	3
2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1 A HÚS ÖSSZETÉTELE SZERKEZETE, JELLEMZŐI	5
2.2 KÖTŐSZÖVETEK AZ IZOMBAN.....	8
2.3 A HÚSÉRÉS BIOKÉMIAI, FIZIOLÓGIAI HÁTTERE	9
2.3.1 A pH változása az érés során.....	11
2.3.2 A hús színében bekövetkező változások az érési folyamat alatt	11
2.4 A HÚS FEHÉRJÉI, TULAJDONSÁGAI.....	12
2.4.1 A fehérjék szerkezeti tulajdonságai, csoportosításuk.....	12
2.4.2 A fehérjék lebomlása a húsban	14
2.4.3 A fehérjék denaturációja.....	17
2.4.4 A fehérjék oldhatósága	18
2.5 SDS POLIAKRILAMID GÉLELEKTROFORÉZIS ALKALMAZÁSA A FEHÉRJÉK VIZSGÁLATÁRA	19
2.6 A FEHÉRJÉK SZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA KALORIMETRIKUS MÓDSZERREL	19
2.7 A MEMBRÁNOK ÁTERESZTŐKÉPESSÉGÉNEK VÁLTOZÁSA AZ ÉRÉS SORÁN	20
2.8 ÁLLOMÁNYVÁLTOZÁS NYOMON KÖVETÉSE AZ ÉRÉS SORÁN	21
2.8.1 Objektív állományvizsgálati módszer.....	21
2.8.2 Szubjektív állományvizsgálati módszer	22
2.8.3 A hús mikrobiológiai romlása.....	23
2.9 A HÚSÉRÉS BEFOLYÁSOLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI	24
2.9.1 Enzimés kezelés alkalmazása	24
2.9.2 Elektromos stimuláció.....	25
2.9.3 Hidrodinamikai kezelés.....	25
2.9.4 Késes tenderizer.....	25
2.9.5 Nagynyomású kezelés.....	26
2.10 AZ ULTRAHANG.....	26
2.10.1 Ultrahang fizikai jellemzői.....	26
2.10.2 Az ultrahang előállításának lehetőségei.....	28
2.10.3 Az ultrahang terjedésének törvényei	28
2.10.4 Az állóhullám	29
2.10.5 Az aktív ultrahang kísérőjelenségei.....	30
2.10.5.1 Akusztikai kavitáció	30
2.10.5.2 Tranziens (tehetetlenségi) kavitáció.....	30
2.10.5.3 Stabil kavitáció	31
2.10.5.4 Akusztikai áramlás	32
2.10.5.5 Atomizáció	32
2.10.5.6 Az ultrahang hőhatása.....	32
2.10.6 Az aktív ultrahang élelmiszer-ipari alkalmazása	33
3 CÉLKITŰZÉS	36
4 ANYAG ÉS MÓDSZER	37
4.1 A VIZSGÁLATOK ALAPANYAGA	37
4.1.1 Minta előkészítése	37
4.2 AZ ÉRLELESI KÍSÉRLET	38
4.2.1 A marhahús érés vizsgálata	38
4.2.2 A minták kezelése aktív ultrahanggal.....	39
4.3 ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK.....	40
4.3.1 A nyers húsminták pH-értékének meghatározása	40
4.3.2 Színmérés	40
4.3.3 Léveszteség meghatározása	42
4.3.4 Érzékszervi bírálat	42
4.3.5 Állományváltozás mérése.....	42
4.3.5.1 Az állománymérés, TPA állományprofil analízis módszerével	43
4.3.5.2 Állománymérés a Warner - Bratzler cella alkalmazásával.....	44
4.3.6 Mikrobiológiai vizsgálatok	45
4.3.6.1 Anaerob összes élő csíraszám meghatározása	45
4.3.6.2 Tejsavbaktériumszám meghatározása.....	46

4.3.6.3	Az <i>E. coli.</i> szám meghatározása	46
4.3.6.4	<i>Pseudomonas</i> spp meghatározása	46
4.3.6.5	Mezofil aerob és fakultatív anaerob baktérium szám meghatározása	46
4.3.7	A marhahús membránpermeabilitásának meghatározása	47
4.3.8	Poliakrilamid-gélelektroforézis vizsgálat	47
4.3.9	A fehérjeállapot vizsgálata Differential Scanning Calorimetry módszerével	49
4.3.10	Alkalmazott statisztikai programok, módszerek	51
5	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS.....	52
5.1	A MARHA HÁTSZÍN ÉRÉSE 0 - 1 °C-ON.....	52
5.1.1	A pH és csepegési léveszteség alakulása 0 - 1 °C-on érlelt hátszín esetében.....	52
5.1.2	A marhahús színének alakulása az érlelés során 0 - 1 C-on.....	53
5.1.3	Mikrobiológiai állapot alakulása 0 - 1 °C - on érlelt hátszín esetében.....	56
5.1.4	Állományvizsgálat 0 - 1 °C - on érlelt hátszín esetében	59
5.1.5	Érzékszervi bírálat 0 - 1 °C - on érlelt hátszín esetében	62
5.2	A MARHAHÚS ÉRÉSÉNEK VIZSGÁLATA + 5°C - OS ÉRLELÉS SORÁN	66
5.2.1	pH és léveszteség változása + 5°C - os érlelés során.....	66
5.2.2	Színváltozás a+ 5°C - os érlelés során.....	67
5.2.3	Mikrobiológiai vizsgálatok + 5°C - os hűtőtérben való érlelés során	70
5.2.4	Állományvizsgálat +5°C-on érlelt hátszín esetében.....	73
5.2.5	Érzékszervi bírálat a +5°C-os érlelés során	75
5.3	NAGY INTENZITÁSÚ ULTRAHANG ALKALMAZÁSA AZ ÉRÉS FOLYAMAT SORÁN.....	79
5.3.1	Az állományvizsgálat az ultrahangos kezelések és érlelési hőmérsékletek függvényében	79
5.3.2	SDS-PAGE gélelektroforézis az ultrahangos kezelések és érlelési hőmérsékletek függvényében.....	81
5.3.3	Az aktív ultrahang és az érlelési folyamat hatása a húsrrost ionkiáramlására.....	88
5.3.4	A DSC termogrammok a különböző ultrahangos kezelések és érlelési hőmérsékletek függvényében	89
6	KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	96
7	ÖSSZEFOGLALÁS.....	97
8	SUMMARY	100
9	TÉZISEK (ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK).....	103
10	MELLÉKLETEK	104
M1.	FELHASZNÁLT IRODALOM	104
M2.	ÉRZÉKSZERVI BÍRÁLATI LAP.....	113
M3.-M7	STATISZTIKAI ELEMZÉS EREDMÉNYEI.....	114
M8.	A MARHAHÁTSZÍN TERMOGRAMMJAINAK ALAKULÁSA A DSC MÉRÉSEK SORÁN	119

RÖVIDÍTÉSEK

2 - DE	kétdimenziós gélelektroforézis
a*	vörös - zöld színezet
ADP	adenozin difoszfát
AMP	adenozin monofoszfát
APS	ammónium-persulfát
ATP	adenozin trifoszfát
b*	kék - sárga színezet
Da	Dalton
DFD	rendellenes húsérési folyamat (Dark, firm dry)
EDTA	etilén-diamin-tetra-ecetsav
kDa	kilo-Dalton, (molekulatömeg)
L*	világossági tényező
PAGE	poliakrilamid-gélelektroforézis
pI	Izoelektromos pont
R250	Coomassie Brilliant Blue R 250 festék
SDS	Nátrium - dodecil - szulfát
SDS-PAGE	Nátrium - dodecil - szulfát poliakrilamid gélelektroforézis
TCA	Triklór - ecetsav
TEMED	N, N,N',N' – tetrametil – etilén - diamin
TKE	telepképző egység
TPA	Textural Profile Analysis
TRIS	Trisz - (hidroximetil) – amino - metán
WB	Warner-Bratzler állománymérő cella
ΔE^*	színínger különbség

1 Bevezetés

Az emberi szervezet sejtjeinek felépítéséhez, normális működéséhez elengedhetetlenül szükséges a megfelelő mennyiségű illetve minőségű fehérjebevitel. Ennek hiányában a szervezet nem képes védekezésre a külső, káros hatásokkal szemben, az immunrendszer meggyengül, fogékonyá válik a különböző betegségekre. A hús az egyik legfontosabb teljes értékű, jól hasznosuló fehérjeforrásunk, tartalmazza az összes esszenciális aminosavat, amelyek szükségesek a szervezet normális működéséhez.

Magyarországon az elmúlt négy évtized során folyamatosan mérséklődött a húsfogyasztás, különösen a vörös húsoké (1. táblázat). Ennek egyik oka a vörös húsok - gyakran elhangzó - negatív táplálkozásélettani megítélése, illetve az előző években Nyugat-Európán végigsöprő, az állatállományban fellépő tömeges megbetegedések, mint a száj- és körömfájás és a BSE megjelenése, melynek élelmiszerbiztonsági megítélése szerte Európában, így hazánkban is negatívan érintette a marhahúsfogyasztást.

1. táblázat Marhahúsfogyasztás Magyarországon (KSH 2003)

Év	Marhahúsfogyasztás kg/fő/év
1970	10,2
1980	9,6
1990	6,5
2000	4,3
2004	3,2
2005	3,1

Negatív hatással bír, hogy gasztronómiailag a marhahús elkészítése a háziasszonyok számára komolyabb kihívást jelent a sertés - és baromfihúsokhoz képest, és időigényesebb is (SZENTE, SZIGETI, SZAKÁLY 2009). A marhahús elkészítésénél a steak húsok sütési technikája - a magyar fogyasztók körében - hiányos, leggyakrabban pörköltféléket készítünk belőle.

Marhahús esetében a porhanyósság az egyik legfontosabb, a fogyasztói megítélésben szerepet játszó minőségi tényező, amely nemcsak az állat korából adódik, hanem érettségi állapotából is. A fogyasztó sok esetben az állat korának tulajdonítja a hosszabb elkészítési időt, míg ez valójában többnyire a hús érettségi állapotától függ.

Az érlelés a vágott testek lehűtéséhez szükséges időt meghaladó tárolást jelent, amely a protoelitikus enzimhatás kiterjedését szolgálja. A marhahús porhanyósodása a vágás után bekövetkező rigor mortis feloldódásával indul meg, ez a folyamat akár több hétre is tehető. A folyamat nehezen kontrollálható, nagyban meghatározza, a szöveti összetétel, takarmányozás, fajta, valamint a vágás előtti és utáni hatások, a lehűtés sebessége is (SØRHEIM et al. 2001). Bár a hazai piacon egyre gyakrabban jelenik meg az érlelt marhahús, az érlelési technológiát a magyar gyakorlatban még nem igazán alkalmazzák.

A régi marhavágási technológiában ismert eljárás volt, hogy a béltraktus eltávolítása után a testet függesztve érlelték környezeti hőmérsékleten (akár +20 - 22 °C) 1-2 napig a gyorsabb érés érdekében. Ma az élelmiszerbiztonsági szabályok szigorúan szabályozzák a vágás utáni hűtési feltételeket és sem a háztartásokban, sem a gasztronómiai egységekben nem jellemző a hosszú idejű húsérlelés (hozzáértés, hely- és hűtőkapacitás hiány).

A hazai ínyencek között egyre inkább elterjed a steak sütés gyakorlata, nyáron a kerti grillezések különleges fogásaként szerepel a steak, és az utóbbi időben a hazai piacon is keresetté vált az érlelt, porhanyós marhahús, az import (argentin, ír), érlelt marhahúsrészek már megtalálhatók, azonban a magas piaci ár korlátozza e húsféleség gyors elterjedését.

A külföldi érlelési gyakorlat alapján megkülönböztetünk száraz és nedves érlelési eljárást. A száraz eljárás során a féltestek csomagolás nélkül, függesztve kerülnek érlelésre. A függesztve érlelés hosszú ideje alatt azonban a marhahús elveszti eredeti élénkörös színét, felülete kiszárad és a mikrobiológiai romlás esélye is nagy. A nedves érlelés a húsrészek csomagolt érlelését jelenti. A csomagolás előnyeit kihasználva a kálóveszteség is kevesebb illetve a mikrobiológiai felülfertőződés kockázata is kisebb.

Dolgozatomban célul tűztem ki ezek alapján, hogy feltérképezem a marhahús érése során végbemenő, bonyolult fizikai és kémiai, biokémiai folyamatok hatását, valamint, egy olyan a hazai üzemek által is alkalmazható érlelési technológiát dolgozzak ki, mely egyszerűbbé és gyorsabbá teszi az érlelt marhahús előállítását.

2 Irodalmi áttekintés

2.1 A hús összetétele szerkezete, jellemzői

A hús - tágabb értelemben - a különféle állatok valamennyi emberi fogyasztásra alkalmas, konyhatechnológiai és húsipari feldolgozásra kerülő része. Ezek közé sorolható az izomszövet, kötőszövet, zsírszövet, csontok, zsigerek (máj, tüdő, vese), agyvelő, vér, idegszövet. Szűkebb értelemben a hús kifejezés csak az izomszövetet takarja (LÁSZTITY, TÖRLEY 1993).

2. táblázat A vágóállatok izomszövetének összetétele (LAWRIE 1998).

Megnevezés	%
Víz	75,50
Fehérje	18,00-20,00
Zsír	3,00
Nitrogéntartalmú nem fehérje vegyületek	1,57
Szénhidrát	0,28
Vitaminok, szerves savak, egyéb szerves vegyületek	1,00
Tejsav	0,90
Vitaminok, egyéb intermedierek	0,10
Szervetlen alkotók	0,65
Foszfor	0,20
Kálium	0,35
Nátrium	0,05
Magnézium	0,02
Egyéb	0,03

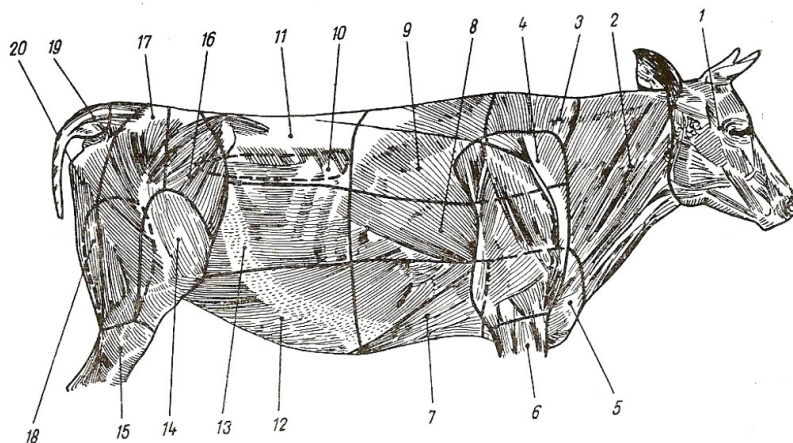
A hús táplálkozásélettani szempontból az egyik fontos alapanyagunk. Az izomszövet mintegy 75 % vizet és 18 - 20 % fehérjét, 3,5 % oldhatatlan nem - fehérje részt illetve, még kb. 3 % zsírszövetet is tartalmaz, ezen kívül magában foglal igen sok biomolekulát pl. szénhidrátokat, vitaminokat, egy és kétértékű kationokat, tejsavat és más molekulákat (2. táblázat).

A zsírtartalom mértéke más és más testtájanként. A szénhidrát a húsokban glikogén formájában fordul elő kisebb mennyiségben. Teljes értékű fehérjetartalma mellett ki kell emelni vitamin - és ásványianyag tartalmát is. Jelentős A - vitamin, niacin, B 1-, B 2-, B 12-vitamin tartalma, valamint fontos vas, foszfor, nátrium, kálium és magnéziumforrás is. Az állatok fajtájától függően a hús vastartalma változó, felszívódása és hasznosulása a szervezetben sokkal jobb, mint a növényekben található vasé és jelentősen növelik a növényi forrásokból származó vas hasznosulását (LÁSZTITY 1981).

A különböző működésű izmokban eltérő az izomfehérjék aránya. Az élő állatban az izmok egy része állandó, de viszonylag csekély erő kifejtéssel járó munkát végez (légzőizmok, testtartást biztosító izmok). Ezek rostjai vékonyak, sok mioglobint, légzőenzimet, de kevesebb miofibrillumot, szénhidrátot tartalmaznak, ezeket a rostokat vörös rostoknak nevezik. A vörös izmokat főleg vörös rostok alkotják.

Azokat az izmokat, amelyek esetenként igen nagy erő kifejtésre képesek, túlnyomórészt fehér rostok építik fel. A fehér izmok mérete gyakran nagy. A fehér rostok vastagabbak, kevés mioglobint tartalmaznak, miofibrillumból azonban sok van bennük. Glikogénből nagyobb mennyiséget képesek felhalmozni és lebontani. A legtöbb izom felépítésében valamennyi rosttípus részt vesz. Gyakran egy izmon belül is különbözik a rostösszetétel.

A friss marhahús színe sötétvörös, illata jellegzetes. Száraz tapintású, rugalmas.

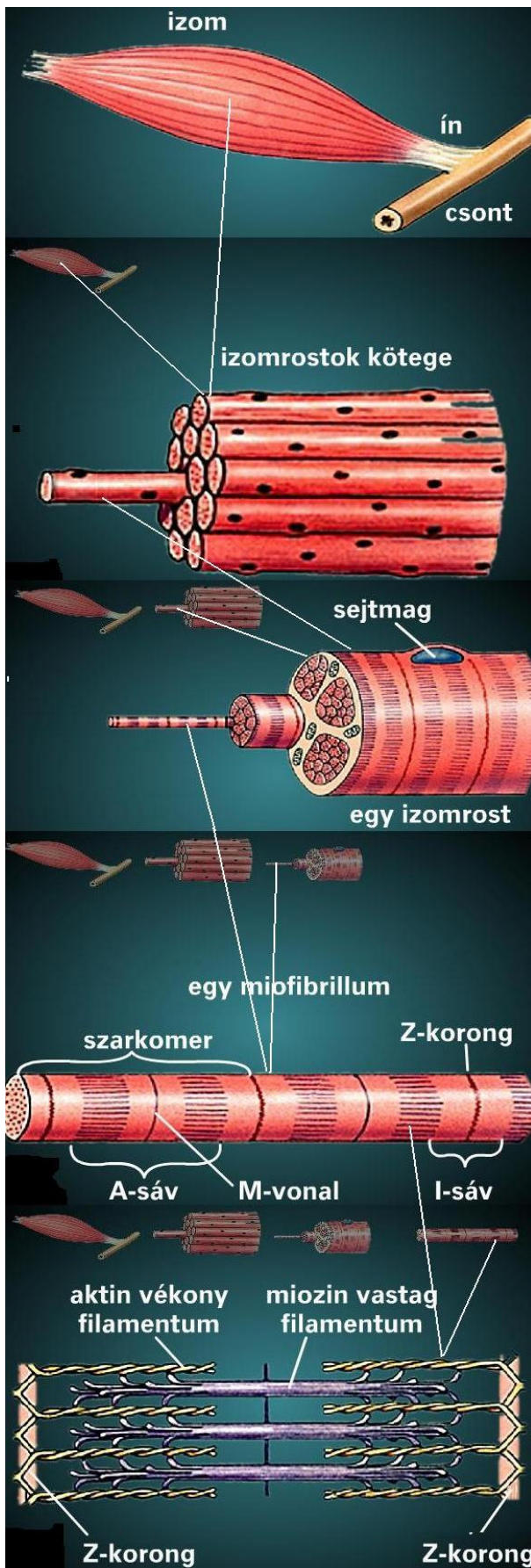


1. ábra A marha részei
(Forrás: LŐRINCZ, LENCSEPETI 1973)

- | | | | |
|------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1. fej, | 7. szegy | 13. puha hátszín | 18. fartő |
| 2. nyak | 8. csontos | 14. gömbölyű | 19. farok |
| 3. tarja | oldal | felsál | 20. fehérpecsenye |
| 4. lapocka | 9. rostélyos | 15. hátulsó | |
| 5. szegyfő | 10. vesepecsenye | lábszárhús | |
| 6. elülső | 11. hátszín | 16. csípőfartó | |
| lábszárhús | 12. puhaszegy | 17. hosszú felsál | |

Az 1. ábrán látható a marha izomzatának felosztása, a kereskedelmi elnevezésük alapján.

Hátszínen belül elhelyezkedő izomcsoportok a következőek: Iliocostalis dors., Longissimus dors., Spinalis et semispin., DorsMultifidus dors., Serratus dors., Obliquus abd.ext, Obliquus abd.int, Transversus abd., Glutaeus med.



Az izomszövet legnagyobb részét kitevő harántcsíkolat izomnyalábok izomrostokból állnak, amelyek belsejében helyezkednek el a miofibrillumok. Az izomszövet felépítése látható a 2. ábrán. Az izomrostok kötőszöveti rostokból álló inakba folytatódnak, ez az összeköttetés lehetővé teszi, hogy az izomrost összehúzódásakor az erőátvitel a legkisebb veszteséggel jusson át a mozgató szervekre - a mozgás passzív szervére - a csontra. A miofibrillák a rostokban a hossz tengellyel párhuzamosan rendeződnek, hosszanti csíkolatuk feltűnő (KOSÁRY 2006).

A fibrillákra a harántcsíkolat a jellemző, egymás után világos és sötét szakaszok váltják egymást. A sötét szakasz polarizált fényben anizotrop (A - sáv) a világos pedig izotrop (I - sáv) tulajdonságú. Ezek a szakaszok tovább tagolódnak. Az A - sávot osztja ketté az M - vonal (középcsík vagy Hensen - sáv), az I - sávot pedig a Z - korong (közti csík vagy Krause - csík).

A fibrillumon belül szabályos elrendezésben, fésűszerűen helyezkednek el a vastag és a vékony filamentumok. Az izomösszehúzódás (kontrakció) alatt a vékony és vastag filamentumok egymásba csúsznak. A vastag filamentumot miozin, C - protein és M - vonal fehérjék, a vékony filamentumot α - és β - aktinin, F - aktin, tropomiozin és troponin komplex alkotja (GRUZSAL 1974).

2 ábra Az izom felépítése
(Forrás: ZÁVODSZKI 2001)

2.2 Kötőszövetek az izomban

Az izmok felületét burkoló, különböző fejlettségű kötőszöveti hártýából (epimizium) kiindulva az izmok belsejébe kötőszöveti sövények hatolhatnak be. Kötőszöveti hártýák burkolják az izomrost - nyalábokat (perimizium) és magát az izomrostot is (endomizium). A kötőszöveti hártýák mentén erek, idegek, kötőszöveti sejtek, zsírsejtek helyezkednek el.

A porhanyósság tekintetében legfontosabb az intramuszkuláris kollagént alkotó peri - és endomizium, ezek háromdimenziós rosthálózatot alkotnak, felépítésükben túlnyomórészt két kollagéntípus vesz részt. Az intramuszkuláris rosthálózat alakot ad és támasztja az izomsejteket, valamint erőátvitelt lát el az izommunka során. A nagy izmokban viszonylag csekély mennyiségű intramuszkuláris kollagén (0,3 - 1,0 %) van, ennek túlnyomó része (90 %) a perimiziumban található. Külön kollagéntípus alkotja a sejtmembrán és az endomizium között elhelyezkedő bázismembránt.

A testszerte előforduló kötőszövetek húsipari szempontból legfontosabb részét a nagyrészt kollagénból és elasztinból álló tömöttrostos kötőszövetek, a pólyák, hártýák, sövények, szalagok, inak, rostok alkotják. A kollagénrostok szilárdak, de nem nyújthatóak. A szilárdító elemek rugalmasságot okoznak, de idővel elbomlanak. A titin pl. két alegységre bomlik proteolízissel.

A kollagén molekulák három felcsavarodott alegységből állnak és a rost alapegységét képezik. Az egyes kötőszövetfajtákat különböző kollagénmolekulák építik fel, amelyekből ma már 14 típust ismerünk. Azonos rostot több kollagéntípust is felépíthet, az állat élete során nem szükségszerűen nő a hőstabil keresztkötések száma, illetve a rágósság, amely tartási és takarmányozási módszerekkel kedvező irányba tolható el. A fiatal állatból kinyert bőr, az inak és felületi izomhártýák hőkezelés hatására nagyobb mértékben zselatinálódnak, mint az izmon belüli kötőszövetek (KOSÁRY 2002).

Az elasztin rendkívül rugalmas, hosszú, elágazó rostjai behálózzák a kollagéntartalmú kötőszövetes képződményeket. Eredeti hosszuk 50 - 80 % - ára nyújthatók, nagyobb tömegben sárgás színűek (rugalmas szalagok). Az elasztin ellenáll a hő, kémiai és mechanikai hatásnak, az érfalak is sok elasztint tartalmaznak.

A zsírsejt lazarusztos kötőszövetből fejlődik ki. A lazarusztos kötőszövet egyes sejtjeiben zsírsejtek jelennek meg, a zsírsejtek megnagyobbodva összeolvadnak, végül az érett zsírsejt nagy részét a zsír teszi ki, a plazma és a sejttag félretolódik. A sejttag közötti állományban rostok, erek vannak.

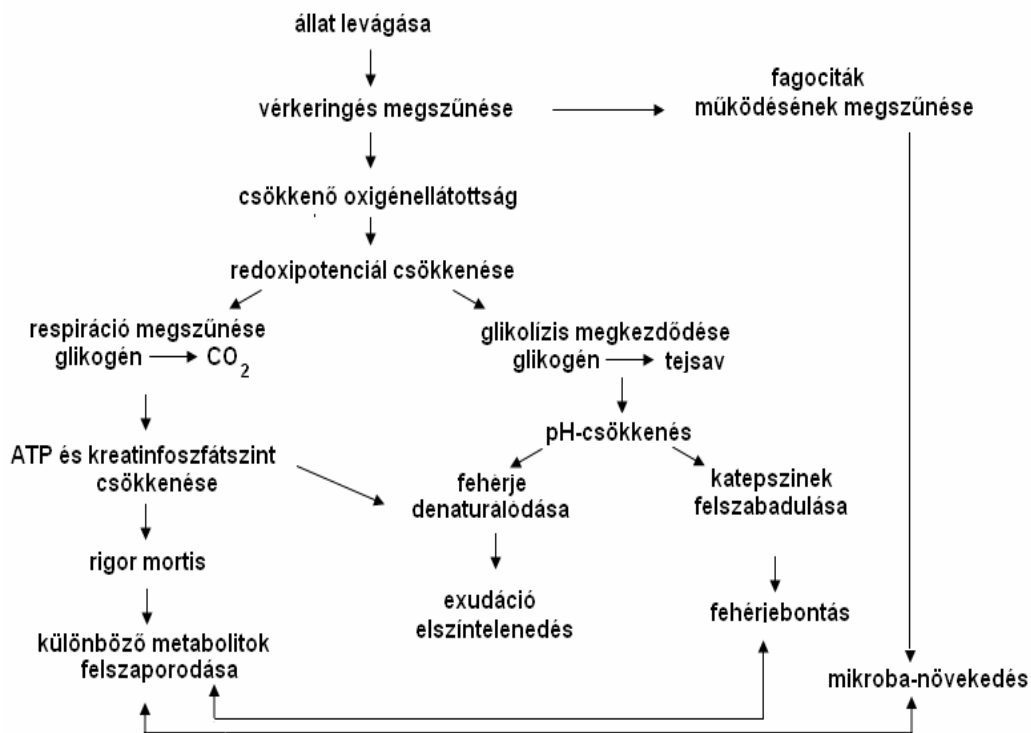
Zsír szövet ezen kívül az izmok között és az izmokon belül fordul elő, mint intermuszkuláris zsír (puha zsír) illetve intramuszkuláris zsír (márványozottság). Ez utóbbi fontos szerepet játszik az élvezeti érték alakításában.

2.3 A húsérés biokémiai, fiziológiai háttere

Az állat levágása után az izomszövetben eltérő feltételek alakulnak ki, mint az élő állat izomszövetében. A változásokért felelős elsődleges ok az oxigénellátás, valamint - a keringés leállása révén - az izomszövet illetve más szervek közötti kapcsolat megszűnése.

Gyakorlati szempontból a vágás utáni átalakulások három szakaszra bonthatóak:

- Pre - rigor, azaz a hullamerevség előtti szakasz ekkor a hús még puha, biokémiaiilag jellemzi a csökkenő ATP és kreatinfoszfát szint
- Rigor mortis, beáll a hullamerevség melyet a fehérjék denaturálódása és a pH csökkenése jellemez
- Post rigor, a hullamerevség utáni szakaszt a fokozatos puhulás jellemzi



3 ábra Az izomszövetben lejátszódó fontosabb folyamatok a vágás után
(Forrás: DIÓSPATONYI 2001)

Az állat levágása után a tökéletes kivéreztetés a cél, hogy a rendszer redoxipotenciálja gyors ütemben tolódjon a redukció irányába. Az oxigén hiányában a terminális oxidáció lehetetlenné válik, és nagyon kevés ATP termelődik az oxigénnel ellátott állapotához képest. Amikor az oxigénszint csökkenés olyan határt ér el, amely nem elegendő már az aktin - miozin kapcsolat gátlására, bekövetkezik a hullamerevség. A további folyamatok során a még meglévő ATP, ADP, AMP lebontódása észlelhető (3. ábra). A glikolízis következtében tejsav szaporodik fel, ami a pH csökkenését okozza (LÓRINCZ, LENCSEPETI 1973).

A hullamerevség bizonyos idő után feloldódik, ennek okai között szerepel a fehérjebontó enzimek működése is. A szarkolemma lizoszómái katepszineket és más proteolitikus enzimeket tartalmaznak.

Ha a membránok a post mortem állapotban károsodnak ezek az enzimek kijutva hatásukat kifejtik. A katepszinek hatására elsősorban a szarkolemma fehérjéi bomlanak le.

Nagyon sok kutató tanulmányozta a marhahús, illetve a hús érésének folyamatát, azonban sok folyamat hátterét még ma sem ismerjük. A legtöbben az ultrastrukturális szerkezet megváltozásával valamint az I és Z - vonal törésével magyarázzák a hús puhulását (ABBOT et al. 1977; DAVEY, DICKSON 1970; DUSTON, PEARSON, MERKEL 1974; HO et al. 1996; TAYLOR et al. 1995). A fehérjék lebomlanak az érés során. A miofibrilla lebomlása során a miofibrilláris valamint a sejtközzötti fehérjék keletkeznek, így a troponin - I, troponin - T a dezimin a nebulin és titin (ROBSON et al. 1997; TAYLOR et al. 1995).

A porhanyósság az egyik legfontosabb élvezeti értéket befolyásoló tulajdonság, amely nagymértékben ingadozik. A porhanyósság a főtt/sült húsétel rágása során szerzett érzékszervi benyomás, amely a hús mechanikai tulajdonságaival, elsősorban a keménységgel és nyíróerővel függ össze. A rágás során a lédúsággal összefüggő állományi jellemzők is érzékelhetők, ezek azonban a rágóssággal nem függenek szorosan össze. A porhanyósságot összetett módon befolyásolja az állatfajfajta, a kor és ivar, az izomfajta, a hizlalás, a vágás utáni pH - csökkenés és a rigor kialakulás sebessége, az izom hőmérséklete, az izom kifeszítettsége, az esteleges elektromos stimulálás és az érlelés időtartama (KOLCZAK et al. 2003).

Az izomrost tulajdonságaira visszavezethető rágósságot a post mortem glikolízis sebessége, a végső pH és az izom összehúzódása, egymással kölcsönhatásban befolyásolja. Ennek értelmében a DFD hús porhanyósságához a nagy mennyiségű kötött víz is hozzájárul, míg túlzott csepegési veszteség esetében az összetömörödött fehérjeszálak önmagukban rágósságot okoznak. Ezen szerkezeti változások mellett az eltérő pH az izomrövidülés fokát is befolyásolja.

2.3.1 A pH változása az érés során

Az élő izom működését biztosító nagy energiájú foszfátok a levágott állat izomzatában lebomlanak, utánpótlásuk oxigén hiányában csak a glikogén lebontás révén képződő ATP -ből lehetséges. Oxigén hiányában a glikogén teljes oxidációja nem történik meg, tejsav képződik, és ez okozza a pH csökkenését.

A pH - csökkenés sebessége az ATP - lebomlás sebességétől függ. ATP hiányában az addig különálló aktin és miozin összekapcsolódik aktomiozinná. Ez a hullamerevség (rigor) állapota. Az izom ekkor merev, nem nyújtható, a pH az élő izom pH -nak megfelelő 7,2 körüli értékről 5,5 - 5,6 értékre csökken. A hullamerevség megszűnése a fehérjebontó enzimek működésének következménye, ez a proteolízis. A proteolízis már viszonylag korai post mortem időszakban elkezdődik.

A pH-csökkenés sebességét a vágóvonalon mért pH - értékkel lehet megítélni. A glikogénbomlás teljes lezajlása utáni pH - értéket végső pH -nak nevezik és gyakorlatilag 24 órával a vágás után mérik. Ha a fiziológiás glikogén és ATP fokozatosan bomlik le, és a folyamat végére pH \cong 5,5 - 5,6 értékre áll be, a pH csökkenését normál jellegűnek ítélik és a hús minősítése is „normál”(VADÁNÉ 1996).

2.3.2 A hús színében bekövetkező változások az érési folyamat alatt

A hús színét a benne található húspigmentek koncentrációja, illetve azok kémiai állapota határozzák meg. A hússzín jellemzője a mioglobinn és származékai koncentrációjával meghatározható színárnyalat és színtelítettség mellett a világossági tényező (L*). A világossági tényező a hús fényvisszaverő képességével függ össze, ami a hús kolloidkémiai szerkezetének változásával változik. Az élő izomhoz közel álló meleg hús és a csak igen csekély pH csökkenést mutató DFD hús elnyeli a fény nagy részét, míg a normál mértékű savanyodást mutató, sok denaturált szarkoplazma - fehérjét és szélsőséges esetben denaturált miofibrilláris fehérjéket is tartalmazó hús több fényt ver vissza (INCZE 1996a).

A kis pH csökkenti a miofibrillumokat alkotó fonalak közötti távolságot és magas hőmérsékleten a miozin denaturálódását idézi elő. Ezek a változások a fehérjék oldhatóságának csökkenésével és a csepegési veszteség növekedésével együtt a világosodását adja. A folyamat a CIELAB L* (világossági tényező) értékének növekedésében nyilvánul meg. A mioglobinn bíborvörös színű pigment, amely rendkívül alacsony parciális oxigén nyomás mellett fordul elő. Kémiai állapota

alapján lehet dezoximioglobin (bíborvörös), oximioglobin (cseresznyepiros) illetve metmioglobin (szürkés barnás), attól függően, hogy milyen mértékben oxidálódik. A hosszan tartó tárolás hatására az izom redukálóképessége megszűnik, amely hatására egyre inkább a barnás színű metmioglobin adja a hús színét (KROPF 1993).

2.4 A hús fehérjéi, tulajdonságai

2.4.1 A fehérjék szerkezeti tulajdonságai, csoportosításuk

A különböző szervezetek által igényelt, illetve a szervezeteket jellemző funkciók indokolják a fehérjék változatos kémiai és szerkezeti felépítését. Ez a sokszínűség nagymértékben megnehezíti a csoportosítást, rendszerezést. Alapvetően kétféle csoportosítást alkalmaznak a biokémiában: a hagyományosnak tekinthető **szerkezetük** szerinti besorolást és a fehérjék **funkció** szerinti felosztását.

A fehérjék osztályozása **szerkezetük** alapján:

- egyszerű fehérjék: hemfehérje, lipoprotein, foszfoproteinek, nukleoproteinek, glikoproteinek,
- összetett fehérjék: albuminok, globulinok, prolaminok, hisztonok, szerkezet alkotó fehérjék, glutelinek.

A fehérjék a betöltött **funkciójuk** szerint lehetnek:

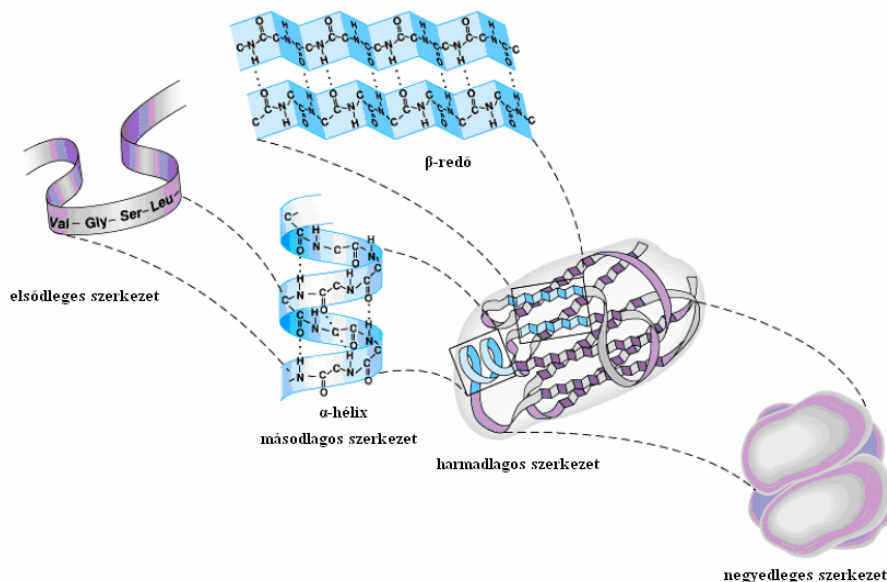
- Szerkezeti fehérjék: a sejtek szerkezetének kialakításában kötőszövetek felépítésében vesznek részt, pl. a sejtfa.
- Kontraktilis fehérjék: az izom felépítésében vesznek részt, ide tartozik az aktin és a miozin.
- Enzimek: az élő szervezetben lejátszódó lebontó és felépítő folyamatok katalizátorai.
- Védőfehérjék: a szervezet védekező rendszerében töltenek be nagy szerepet.
- Transzport fehérjék: a kisebb molekulákat kötik meg és szállítják a szervezetben.
- Hormonfehérjék: az életfolyamatok szabályzásban vesznek részt.
- Toxinfehérjék: ide tartoznak például a kígyómérgek is.
- Tartalékfehérjék: kisebb ionok, molekulák raktározásában játszik szerepet.

(STEFANOVITS - BÁNYAI et al. 2001)

A fehérjék kémiai felépítése elvben viszonylag egyszerű, peptidkötésekkel számos aminosav kondenzációja révén jönnek létre. A kialakult szerkezettel kapcsolatban elsősorban az a kérdés, hogy milyen az egymást követő aminosavak sorrendje, szekvenciája. Az aminosav - szekvenciák a fehérjék elsődleges (primer) szerkezetét határozzák meg.

Egy hosszú atomlánc, amely több száz aminosavnak molekulává kapcsolódásakor keletkezik, a térben igen különböző módon alakulhat ki - pl. mint nyújtott lánc, mint rendezetlen gombolyag

vagy mint rendezett spirális. A láncoknak a térben való elrendeződését láncskonformációnak nevezzük. A fehérjék térbeli szerkezetének alakulása látható a 4. ábrán.



4. ábra A fehérjék szerkezete

(Forrás: http://kvhs.nbed.nb.ca/gallant/biology/protein_structure.html)

A láncskonformáció magába foglalja a régebben használatos másodlagos (szekunder) és harmadlagos (tercier) szerkezet kifejezéseket, amelyekkel ezeket a szerkezeti ismertetőjegyeket a szekvenciától (elsődleges szerkezettől) megkülönböztettük.

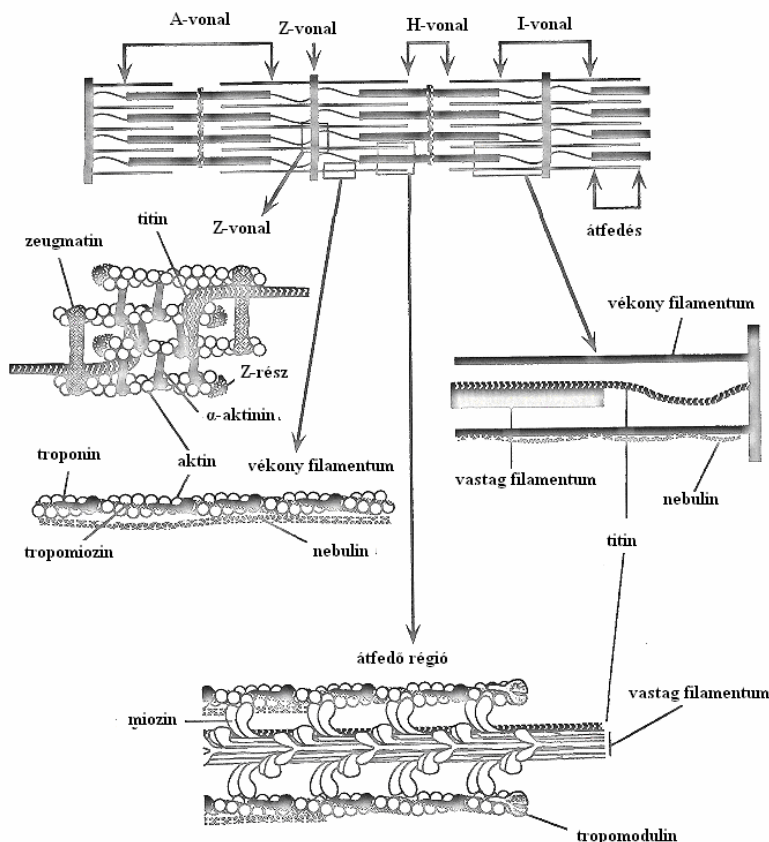
A másodlagos szerkezet elnevezés magának a peptidláncnak a térbeli elrendeződését jelöli. A másodlagos szerkezethez tartoznak a fehérjék elrendeződésének módjai. Amely a redőzött lemezstruktúrát (β - redő) és az α - spirál (α - hélix) jelenti. A redőzöttségnek ezt a módját már az aminosavszekvencia meghatározza. A redőződés nem véletlenszerűen jön létre, hanem a peptidlánc különböző szakaszai között fellépő kötési erők következménye. Amíg ez magát a láncot, vagyis a peptidkötés atomjait érinti, másodlagos szerkezetről beszélünk.

A globuláris (gombolyag alakú) fehérjékben ezzel szemben az oldalláncok funkciócsoportjai felelősek a meghatározott redőkért. Az így kialakuló alakzatok a fehérjék harmadlagos szerkezetét határozzák meg. A harmadlagos szerkezet a fehérjét alkotó atomok térbeli helyzetére vonatkozik.

A negyedleges szerkezet több peptidlánc meghatározott molekulává történő aggregációját jelöli. Az oldott fehérjék, különösen az enzimfehérjék molekulásúlya 70 000-től több százezerig terjedhet. A fehérjék az esetek nagy részében több peptidláncból (alegységekből) tevődnek össze, melyek némelykor diszulfidhidakkal, többnyire azonban csupán gyenge kölcsönhatásokkal kapcsolódnak össze. Azt a módot, amellyel a teljes molekula az alegységekből összetevődik, negyedleges szerkezetnek nevezzük (ROSETTE 2002).

2.4.2 A fehérjék lebomlása a húspan

A porhanyósodás folyamatában többféle enzim hatása érvényesül. Sokáig kiemelt jelentőségűnek tartották a lizozómába zárt katepszineket, amelyek a pH - csökkenés következtében felszabadulva lebontják a miozint és az aktint.



5. ábra Kapcsolatrendszer a nebulin, aktin és miozin között
(Forrás: LAWRIE 1998)

A kétféle filamentum hidakkal kapcsolódik össze. Az izomösszehúzódás (kontrakció) alatt a vékony és vastag filamentumok egymásba csúsznak. A vastag filamentumot miozin, C - protein és M - vonal fehérjék, a vékony filamentumot a - és b - aktinin, F - aktin, tropomiozin és troponin komplex alkotja. A vastag filamentum mintegy 60 % - a miozin. A miozin molekulatömege 460 000 D, és két nehéz (200 - 200 ezer D) és három könnyű lánc (alegység) alkotja (15 - 30 ezer D). A miozin peptidláncai több, utólag metileződött aminosavakat (3 - metil - hisztidin, e - N - metil -, illetve e - N - trimetil - lizin) tartalmaznak. A miozin fej (ek)ből és farkból áll. A fark két szuperhelikálisan összecsavarodott α - hélix szerkezetű nehéz lánc. A fej (ek) két egyenlő méretű globuláris szerkezetű nehéz láncból áll (nak). A könnyű láncok a fej (ek) hez kapcsolódnak (5. ábra).

A miozin funkció szerint ATP - áz, amely kalcium ionokkal erősen, magnézium ionokkal kevésbé aktiválható, más ATP - áz enzimekkel ellentétben egy értékű kationok is aktiválják. A miozin ATP - áznak fej (ek) ben van egy - egy aktív centruma, amely két - SH csoportot tartalmaz. Az aktív helyek konformációjának kialakulásában valószínűleg a könnyű láncok is szerepet játszanak. A fej (ek) ben aktinkötőhely is van, ide kötődik az aktin aktomiozin komplexet képezve. Ez a komplex ATP hatására disszociál.

A vékony filamentum fő alkotórésze, mintegy 60 % - a az aktin. Az aktin 376 aminosavból álló polipeptidlánc, amely egy monomerként keletkező globuláris fehérje (G - aktin), amelyből az izomsejtben fibrilláris polimer alak képződik (F - aktin). Az F - aktinban a monomerek kettős spirált alkotva kapcsolódnak össze, ez fordulatonként hét pár monomert jelent. Minden monomer beépüléséhez egy ATP - ADP átalakulás, azaz egy makroerg kötés energiája szükséges.

A vékony filamentumban még két fehérje komponens van, ezek össz mennyisége nem haladja meg a 10 % - ot. A rostos felépítésű, két összetekeredett α - hélixet tartalmazó tropomiozin az aktin szuperhélix vájában helyezkedik el és minden esetben F - aktinnal együtt fordul elő.

A troponin globuláris molekula, amely a vékony filamentum hosszában úgy helyezkedik el, hogy minden hét aktin monomer párra két troponin molekula esik. A troponin három alegységből áll, mindegyik alegység egy - egy aktív helyet tartalmaz. A troponin - C a kalcium ionokat köti meg. A troponin - C szerkezeti hasonlóságot mutat a kalmodulin nevű, ugyancsak a kalcium ionok megkötésére szolgáló fehérjével. A kalmodulin a hormonok működése hatására a sejtekben felszabaduló kalcium ionok megkötésére szolgál. A troponin - I tartalmazza az aktin kötőhelyet. Nyugalmi állapotban a miofibrillumban a troponin - C alegységhez troponin - I alegység kapcsolódik, ezáltal gátolt az ATP - áz aktivitást. A troponin - T a tropomiozin kötőhelyet tartalmazza.

Az eddigi ismeretek szerint (MESTRE et al. 2002.; WACKERBATH et al. 2009) a legtöbb bizonyíték amellet szól, hogy a porhanyósodás a vázfehérjék (titin, nebulin, dezmin és a Z - vonal) lebomlásával függ össze, amelyet a citoszolban levő, ún. kalpain (kalcium által aktivált) enzimek végeznek. A kalpainok nagy része a Z - vonal környékén, kisebb része az A - és I - zónában helyezkedik el (3. táblázat).

3. táblázat Az izomszövet fehérje összetétele és molekulatömegük (HOFFMAN, HAMM 1987).

Fehérje		Molekulatömeg (kDa)	Helye
Kontraktilis fehérjék			
	Miozin	200	A - vonal
	Aktin	40	I - vonal
Szabályozófehérjék			
	Troponin (C, I, T)	70	I - vonal
	Tropomiozin	70	A - vonal
	M - fehérje	165	A - vonal
	C - fehérje	140	A - vonal
	H - fehérje	69	A - vonal
	F - fehérje	121	A - vonal
	I - fehérje	50	A - vonal
	X - fehérje	152	Aktin végén
	β - aktinin	70	I - vonal
	γ - aktinin	35	I - vonal
Vázfehérjék			
	Dezimin	53	Z - vonal
	Vimentim	55	középső része
Elasztikus rész			
	Titin	2700	A - I vonal
Z - vonal fehérjéi			
	α - aktinin	100	Z - vonal
	Z - fehérje	50	Z - vonal
	Euaktinin	43	Z - vonal
	34K fehérje	34	Z - vonal
	Filamin	250 x 2	Z - vonal
Egyéb fehérjék			
	Vinculin	130	Szarkolemma
	Nebulin	700	I - vonal
	Paratropomiozin	34	A - I vonal

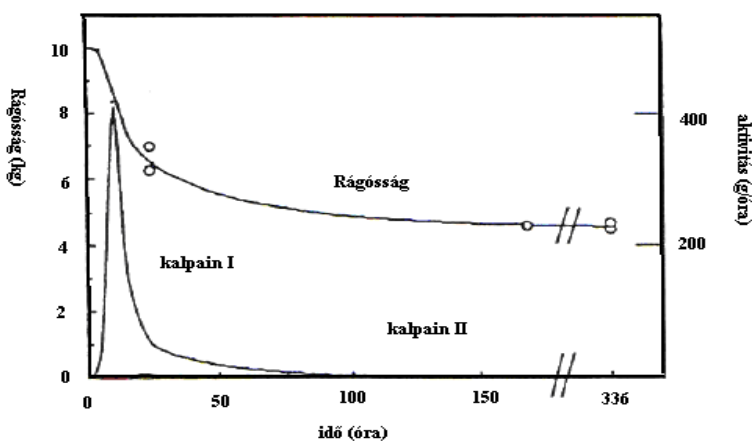
A kalpainok mellett ezek aktivitását gátló kalpasztatinok is jelen vannak az izomsejtben. Ezen kontraktilis fehérjék valóban a katepszinek szubsztrátjai, azonban nem mutattak ki a porhanyósodás folyamata és a katepszinek aktivitása közötti kapcsolatot. A katepszinek inkább hosszas tárolás után vagy savas kezelés hatására válnak aktívvá.

Szintén háttérbe szorul a húsérés körülményei között az ún. multikatalitikus enzimrendszer, amelynek aktivitása 7,5 - 8,0 pH-tartományban és + 45°C körül a legnagyobb.

A húsérés során a következő szerkezeti változások figyelhetők meg (OUALI et al. 2001):

- a Z - vonal és az I - zóna folytonosságának megszakadása, a miofibrillumok fragmentálódása,
- a dezmin, titin és nebulin lebomlása kisebb fragmentekre.

Az optimális porhanyósodás feltételeit izolált kalpainok vizsgálata alapján dolgozták ki. A kalpainokat a rigor időpontjában felszabaduló kalciumionok aktiválják. A kalpain I teljesen aktiválódik a rendelkezésre álló kalciumion - koncentráció mellett. A kalpain II azonban több kalciumot igényel a teljes aktivitáshoz, ezért csak 30 % - ig aktiválódik. Marhahúsban 6,3 - as pH elérésekor kezd működni a kalpain I, kb. 6 órával a vágás után (6. ábra). A kalpain II kb. 16 órával a vágás után kezd aktiválódni. Az enzimek - kalciumionokkal történő aktiválást követően - fokozatosan inaktiválódnak. Ez a folyamat szab határt a porhanyósodásnak (VADÁNÉ 1996).



6. ábra A kalpainok hatása a marha hosszú hátizom porhanyósodására
(Forrás: LÁSZTITY 1981)

A porhanyósodás a rigor alatt nem mérhető, mert a rigorkeményesség és a pH - csökkenés okozta állományváltozás elfedi. A porhanyósodás mértéke ezt követően a kalpainok mennyiségétől függ, amit az eredeti mennyiség és az inaktiválódás foka határoz meg. A teljes porhanyósodás után maradó úgynevezett háttér - rágósság a kötőszövettel, miofibrillum - rövidüléssel, intramuszkuláris zsírral és a víztartó képességgel (duzzadás/zsugorodás) függ össze. Kis mennyiségű és sok oldható kötőszövetet tartalmazó kollagén, nagyfokú márványozottság, jó víztartó képesség és nagy szarkomerhosszúság kedvezően befolyásolja a porhanyósságot.

2.4.3 A fehérjék denaturációja

Hő hatására csaknem az összes oldható fehérje koagulál, ez különösen gyengén savas oldatokban figyelhető meg. A denaturálás során a fehérje szerkezetében változások jönnek létre, és ezzel egyidejűleg biológiai tulajdonságai is (pl. enzimatis vagy hormonhatás) elvesznek. Oldhatósága erősen csökken, és a kémiai - fizikai tulajdonságai is megváltoznak.

Igen sok denaturáló hatású anyag ismert, ezekhez tartoznak a savak, a lúgok, az organikus oldószerek, a koncentrált urea - (karbamid) és guanidinoldat, az aromás savak, mint a szalicilsav és

detergensenek, mint a dodecilszulfát. Nem minden fehérje egyformán érzékeny a denaturálószerekkel vagy a fizikai behatásokkal, pl. hő - vagy sugárkezeléssel szemben, és az érzékenység különböző módon függ a pH - tól, a sótartalomtól stb. is.

A denaturáció erősen endoterm folyamat. A jelenség ily módon az olvadás folyamatának felel meg, és ez az analógia nem csupán felszínes. Mint ahogyan az olvadás esetében a kristály térrácsa összeomlik, a denaturálásnál éppen úgy bomlanak fel a gyenge kötőerők, amelyek a globuláris fehérjéket a natív konformációban stabilizálják. A peptidláncok legombolyodnak és a láncok között tisztán, véletlenszerűen alakulnak ki gyenge kötések, miáltal a fehérje oldhatatlanná válik. A denaturált fehérjéket a proteáz enzimek könnyebben támadják meg, mint a natív proteineket (KARLSON 1972).

2.4.4 A fehérjék oldhatósága

Az egyes fehérjék oldhatóságában jelentős eltérések mutatkoznak, amelyek egyrészt a hidofil és a hidrofób csoportok eltérő számából és térbeli elrendeződéséből, másrészt a molekula nagyságából, alakjából és az oldószer minőségéből adódnak. Az oldhatóság alapján megkülönböztetünk oldódó és nem oldódó, csak duzzadó fehérjéket. Duzzadási folyamat indulhat meg olyan fehérjéknél, amelyekben sok szabad karboxil- és aminocsoport található, ezekhez ugyanis a poláros oldószerek elektrosztatikus kötőerőkkel kapcsolódhatnak. Semleges sók kis koncentrációban növelik az oldhatóságot, azonban egy meghatározott koncentráción túl az oldhatóság csökken, és bekövetkezhet a fehérje kicsapódása.

4. táblázat A fehérjék molekulatömege és izoelektromos pontja (pI) (NELSON, COX 2000).

Rövidítés	Teljes név	Tömeg	pI	Rövidítés	Teljes név	Tömeg	pI		
A	Ala	Alanin	89,09	6,11	M	Met	Metionin	149,21	5,74
C	Cys	Cisztein	121,16	5,05	N	Asn	Aszparagin	132,12	5,41
D	Asp	Aszparaginsav	133,10	2,85	P	Pro	Prolin	115,13	6,30
E	Glu	Glutaminsav	147,13	3,15	Q	Gln	Glutamin	146,15	5,65
F	Phe	Fenil - alanin	165,19	5,49	R	Arg	Arginin	174,20	10,76
G	Gly	Glicin	75,07	6,06	S	Ser	Szerin	105,09	5,68
H	His	Hisztidin	155,16	7,60	T	Thr	Treonin	119,12	5,60
I	Ile	Izoleucin	131,17	6,05	V	Val	Valin	117,15	6,00
K	Lys	Lizin	146,19	9,60	W	Trp	Triptofán	204,23	5,89
L	Leu	Leucin	131,17	6,01	Y	Tyr	Tirozin	181,19	5,64

2.5 SDS poliakrilamid gélelektroforézis alkalmazása a fehérjék vizsgálatára

A proteomikát alkalmazhatják fehérjék azonosítására különféle élelmiszer - mátrixokban, fehérje - fehérje kölcsönhatások tanulmányozására élelmiszeripari alapanyagokban és késztermékekben, illetve fehérjék és egyéb élelmiszer - összetevők kölcsönhatásának vizsgálatára is.

A proteomika egyik speciális alkalmazási területe az élelmiszerek minőségét meghatározó komponensek elemzése. Sertéshús post mortem változásának molekuláris szinten történő nyomon követésével, LAMETSCH és BENDIXEN (2001) meghatározták azt az izomfehérjét, amely a post mortem állapot során módosul.

Az élelmiszeripari technológiák gyors fejlődése, illetve az új technológiák megjelenése újabb és újabb alkalmazási területet nyújt a proteomikai vizsgálatok számára. Lehetőség nyílik a különböző eljárások élelmiszerfehérjék összetételére gyakorolt hatásainak nyomon követésére is.

Amennyiben a fehérjéket nátrium - dodecil - szulfát (SDS) tartalmú gélben futtatjuk, az elválasztás a fehérje molekulatömege szerint megy végbe, mivel az SDS "elfedi" a fehérjék töltéseit. A futtatás során keletkező sávok élesek, jól pozícionálhatók. HOFMAN (1973) marha, sertés, ló és szarvas húsok préslevének elválasztása után specifikus mintázatú és különböző intenzitású sávokat kapott ennek a technikának a felhasználásával.

2.6 A fehérjék szerkezetének vizsgálata kalorimetrikus módszerrel

A kalorimetriai mérés során a fehérjék térszerkezetének megváltozását a termodinamikai paraméterek vizsgálatával követhetjük nyomon. Általában az állandó nyomáson mért hőkapacitást mérjük, amelyből következtethetünk az entalpia, entrópia és a szabad entalpia megváltozására. Ennek az eljárásnak a neve differenciális pásztázó kalorimetria (differential scanning calorimetry, DSC). A mérés lényege tulajdonképpen, hogy különböző hőmérsékleten mérjük a két mintatartóban elhelyezett oldat hőkapacitásának különbségét, amit így a hőmérséklet függvényében ábrázolhatunk. Ennek során megkapjuk a DSC - görbét. Az egyik mintatartóba a referencia oldatot, a másikba a vizsgálandó anyagot töltjük. A fehérje átalakulása - denaturációja - alatt a hőkapacitása erősen megváltozik, így a görbén éles csúcs keletkezik, ennek a csúcsnak a maximuma adja meg az átalakulási hőmérsékletet.

A szabad entalpia változása az (1) összefüggés segítségével követhető nyomon (GRAY 1968)

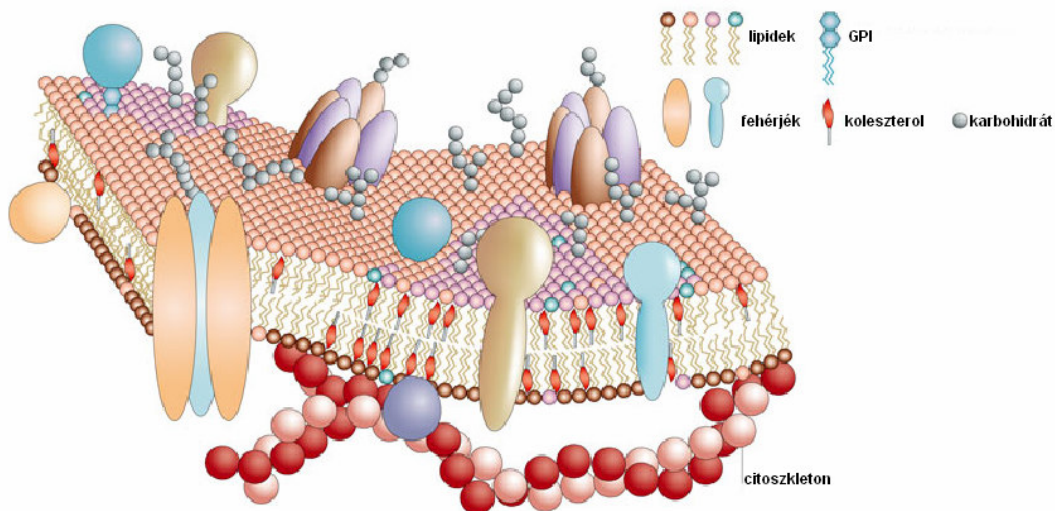
$$\Delta G = RT \cdot \ln K \quad (1)$$

ahol: ΔG a szabad entalpia változás, K a natív és denaturált állapotú molekulák számának aránya.

DERGEZ és munkatársai (2006) a vágás utáni rigor - előtti - közbeni és utáni állapotot vizsgálták kalorimetrikus módszerrel. A rigor alatt az aktin és a miozin összekapcsolódásából adódóan a csúcsok közelebb estek egymáshoz. LŐRINCZY és BELÁGYI (1995) az aktin két előfordulási formájának hőstabilitását vizsgálták, és azt tapasztalták, hogy a termogrammok alapján elkülöníthető az aktin két típusa. SIKES és munkatársai (2010) a nagynyomású kezelés hatását vizsgálta a marhahús porhanyósságára, illetve a fehérje denaturációs csúcsokra nézve. A kalorimetrikus módszer alkalmas starterkultúrák hatására bekövetkező denaturáció kimutatására is (AKTA et. al 2005). THORARINSDOTTIR és munkatársai (2002) pácolt hal, sózás hatására bekövetkező fehérje frakcióinak denaturálását mutatta ki DSC módszerrel.

2.7 A membránok áteresztőképességének változása az érés során

A biológiai membránok (határhártyák) szerkezetét az utóbbi évtizedekben sikerült pontosan megismerni. Alapjuk kettős foszfatidréteg, amelynek apoláros részei egymás felé fordulnak, poláros részeik a vizes fázis felé néznek. A foszfatidmolekulák között fehérjéket találunk, ezek részben beágyazódnak a membránba, mások viszont átérnek a lipidrétegen, és közöttük rések alakulhatnak ki, ahol a víz és más poláros molekulák át tudnak jutni (7. ábra).



7. ábra A sejtmembrán szerkezete

(Forrás:KŐHIDAI 2008)

Az ATP lebomlása és a pH csökkenése a sejtmembrán áteresztőképességét is megnöveli, de nő a kismolekulájú oldott anyag (szervetlen foszfátok, laktátok stb.) koncentrációja is a szövetekben. Ezek az elektromos vezetőképesség növekedését eredményezik.

A citoplazmát (sejtet) a külvilágtól a sejthártya választja el. Rajta keresztül megy végbe a sejt és a külvilág közötti anyagforgalom.

Az érés során a membrán áteresztő képessége megváltozik. A sejtalkotók lebomlásával a membránok is meggyengülnek, a csepegési és főzési veszteség nő (BOND, WARNER 2007).

DAMEZ és munkatársai (2007) 14 napos érlelési kísérlet során igazolták impedanciaváltozás mérésével, hogy a membránszerkezet az érlelés során sérül.

2.8 Állományváltozás nyomon követése az érés során

Az állomány alakulása az érés során az egyik legfontosabb minőségi jellemző. A porhanyósodás jól nyomonkövethető objektív illetve szubjektív vizsgálati módszerekkel egyaránt.

2.8.1 Objektív állományvizsgálati módszer

A nyers hús objektív állományvizsgálata körülményes az eredmények a hússzövet inhomogenitása miatt nagy szórást mutatnak, azonban az állományban bekövetkező változásokat objektív módszerekkel is detektálni kell. A marhahús érési folyamatainak lezajlása során az állomány változását puhulás jellemzi.

MONSÓN és munkatársai (2005) a különböző takarmányozás hatását vizsgálta tehének húsának állományára. Warner - Bratzler mérőcellát és kompressziós mérést alkalmazva, (a mintát nyers állapotban, az eredeti magasság 20 és 80 % - ig összenyomva). Azt tapasztalták, hogy a 35 napos érési periódus alatt a 80 % - ig összenyomott minták alig mutattak eltérést, viszont hőkezelve a minták rágóssága (kg/cm^2) az érlelési napok előrehaladtával csökkent. HWANG és munkatársai (2004) a vágás után 24 órán keresztül inkubálták a hátszín és fehérpecsenye részeket. Azt tapasztalták, hogy a 36 °C - on tartott minták állománya puhább, mint az 5 illetve 15 °C - on tartottaké. HUIDOBRO és munkatársai (2005) két módszert hasonlítottak össze úgy, hogy nyersen és főtt állapotban is vizsgálták a minták állományát. Tapasztalataik szerint a hőkezelt minták - TPA - módszerrel történő vizsgálata során - a mért keménység és ruganyosság értékek összefüggést mutattak az érzékszervi vizsgálatok eredményeivel.

Különböző hústípusok érés alatt bekövetkező vágóérték változását vizsgálták SIMOES és munkatársai is (2005). A mintákat a mérés előtt grillezték, majd visszahűtötték. Tapasztalataik szerint a semimembranosus - vagyis combizom - indikátorként jelzi a többi húsrész puhulását.

2.8.2 Szubjektív állományvizsgálati módszer

A steakok sütése során a hús vizet veszít, amely rágóssághoz vezethet, főleg a hozzáértés hiánya és a túlsütés eredményezhet élvezhetetlen steakot.

Ahhoz, hogy összehasonlíthassuk objektív mérési eredményeinkkel, olyan közös tulajdonságokat kell definiálni, amelyek mindenki számára felismerhetőek, megtanulhatóak. CIVILLE és SZCZESNIAK (1975) készítette az állomány leírására egy rendszert (5. táblázat).

5. táblázat Állományvizsgálati paraméterek jellemzése (CIVILLE, SZCZESNIAK 1975)

Mechanikai jellemzők		
Elsődleges tulajdonság	Másodlagos tulajdonság	Jellemzők
Keményiség		Puha - Szilárd – Kemény
Kohezivitás	Törhetőség	Tartás nélküli - Morzsálódó – Roppanó
	Rágósság	Porhanyós – rágós
	Gumisság	Lisztes - pépes – gumis
Viszkozitás		Híg – viszkózus
Ruganyosság		Plasztikus – elasztikus
Tapadósság		Ragadós - tapadós - ragacsos
Geometriai jellemzők		
osztály	Jellemzők	
Szemcseméret és forma	Szemcsés, durva	
Szemcseforma és elhelyezkedés	Szálás, kristályos, sejtes	
Egyéb jellemzők		
Elsődleges tulajdonság	Másodlagos tulajdonság	Jellemzők
Nedvesség tartalom		Száraz - lédús – vizes
Zsír tartalom	Olajosság	Olajos
	Zsírosság	Zsíros

DESTEFANIS és munkatársai (2008) a Warner - Bratzler vágási értékek függvényében állapított meg intervallumokat, párhuzamosan az érzékszervi bírálattal alátámasztva eredményeit. Így öt kategóriát alakítottak fel, a nagyon keménytől a nagyon puháig, amelyekhez Warner - Bratzler vágási érték - intervallumot adtak.

Az érzékszervi vizsgálatok során legtöbbször a vizsgált minták puhaságát (tenderness), lédúságát (juiciness), íz intenzitását (flavour intensity), rágósságát (toughness) tanulmányozták (MONTGOMERY et. al 2003, ; BERRY, ABRAHAM 1996, ; LIU et. al 2003).

2.8.3 A hús mikrobiológiai romlása

A húsok és húskészítmények a nagy víztartalmuk miatt könnyen romlásnak indulnak. A vágóállatok izomzatában - a fertőzött és beteg állatok kivételével - nincs baktérium, ezért sterilnek tekinthető (BÍRÓ, BÍRÓ 2000). A Gram - pozitív mikroorganizmusok az állatok izomzatának fertőzését okozhatják, amelynek előfordulása rendkívül ritka. A Gram - negatív baktériumok a környezetből kerülnek az állatra. A húson levő mikrobás szennyeződés elsődleges forrása a külső bőrfelület és a bélsár. A hús további szennyeződése a különböző eszközökről és berendezésekről, illetve az emberi kézről származik (TAKÁCS 1971).

A kezdeti szennyeződésen kívül a nyers hús romlásában szerepet játszik a hús feldolgozottságának mértéke (pl.: felvágott hús, darált hús), a pH, a környezeti relatív páratartalom és a tárolás hőmérséklete (INGRAM, DAINTY 1971). Ennek következményeként vágás után a nyers húst a vágás után rögtön le kell hűteni, mert különben gyorsan megindul a baktériumos romlás. A hűtött termékek szempontjából az egyik legfontosabb tényező a hőmérséklet (INCZE 1996). Alacsony hőmérsékleten a mikroorganizmusok anyagcseréje lelassul, de a szaporodás minimális hőmérséklete már baktériumfüggő.

1. Nyers hús romlási jelenségei magas hőmérsékleten (> 25°C):

Ha a húst nem hűtik le gyorsan vágás után a megfelelő hőmérsékletre és a szövetek hosszabb ideig tartózkodnak 25 - 30°C körül, ennek hatására idő előtt indul meg a mikrobiológiai romlás. Ennek a folyamatnak az elején először sztreptokokkuszok kezdenek el szaporodni, majd a biokémiai változások miatt anaerob viszonyok válnak uralkodóvá, és ez a klosztridiumoknak kedvez.

2. Nyers hús romlási jelenségei közepes hőmérsékleten (15 - 25°C):

Ez a körülmény akkor alakulhat ki, ha az előhűtés nem elég gyors a vágás után, illetve ha a hús mérete nagy, mert ilyenkor gyakran marad a hús belseje sokáig melegebb, amely elegendő ahhoz, hogy megkezdődjön a csont körül a rothadás. Ezt a romlást rendszerint a klosztridiumok és bacillusok váltják ki. Közepes hőmérsékleten tárolva a húst elsősorban a fakultatív anaerob mikroorganizmusok vannak többségben.

3. Nyers hús romlási jelenségei alacsony hőmérsékleten (0 - 4°C):

A hűtőtárolás sok esetben nem elegendő védekezés a baktériumok ellen, mert vannak olyan fajok is, amelyek minimális szaporodási hőmérséklete akár - 5°C is lehet. Mindemellett a 2°C - os tárolási hőmérséklet már elegendő arra, hogy jelentősen gátolja a kellemetlen szagok kialakulást és a nyálkaképződést. Ha a tárlóhelyiség relatív páratartalma kicsi, a vágott állat felülete kiszárad, és ez a körülmény kedvez a mikrokokkuszoknak és a sztreptokokkuszoknak. Normál körülmények között a relatív páratartalom magas, ez pedig a nyálkásodást okozó Gram - negatív hidegtűrő pálcáknak kedvez (DEÁK et al. 1980).

2.9 A húsérés befolyásolásának lehetőségei

A húsban lezajló folyamatok gyorsítására rengeteg irányban indultak kísérletek, azonban iparban való alkalmazásuk igen ritka. Legtöbb esetben a hús porhanyóosságának javításáról beszélhetünk. A kemény, tömött szerkezetű marhahús nagy problémát okoz az ipar számára is a feldolgozhatóságban (KOOHMARAIE 1996). Az ipari hasznosítás során a még rigor mortis állapotban levő alapanyagból, nehezen gyártható jó minőségű vörösarú, a hús ekkor kevésbé képes a hozzáadott víz megkötésére is.

Különböző fizikai, kémiai és mechanikai hatásokkal és azok kombinációival javítható a hús puhasága, porhanyóssága. A hagyományos érlelésnél a fehérjebontó proteázok hatására puhul a rágós, öreg hús (KOOHMARAIE 1994). Jellejük szerint lehetnek fizikai, kémiai illetve biokémiai behatások.

2.9.1 Enzimes kezelés alkalmazása

A hús puhítása javítható enzimes kezeléssel, enzim oldat beinjektálásával (MORRISSEY, FOX 1981). A beinjektált enzimeket tartalmazó oldat tartalmazhat még, nátrium kloridot, kalcium-kloridot, polifoszfátot és savakat (BERGE et al. 2001; EILERS et al. 1994). A beinjektált anyagok a húsban lévő aktin és miozin közötti kötőerőt csökkentik, a fibrillumok közti teret növelik, a vízkötő, víztartó képességet javítják, így a hús nedvességtartalma megmarad, szerkezete lazul. BERGE és munkatársai (2001) 0,5 M -os tejsavas oldatot fecskendeztek a hústömegre vonatkoztatott 10% -ban a vágás utáni 1 illetve 24 óra elteltével az izomzatba. Az érlelés során a később befecskendezett minták íze savanyú, tejsavas volt, valamint a színük zöldes árnyalatot vett fel. Próbálkoztak különböző foszfát típusok injektálásával - 12%, 18% - ban - ezeknek a használatával ugyan az

állomány jobb lett, viszont a fogyasztók nagy része idegenkedik a beinjektált anyagoktól (BAUBLITS et al. 2005)

2.9.2 Elektromos stimuláció

Az elektromos stimulálással optimális eredményt csak akkor lehetne elérni, ha az egyes vágott testeken differenciáltan végeznek azt, pl. a pH - esés sebességének megfelelően. 5,9 pH alatt az elektromos stimulálás már nem javítja a porhanyósságot (BEKHIT et al.2007a).

Az elektromos stimuláció egy előkezelés a rágósság megelőzésére, a hideg rövidülés megakadályozására (HWANG, DEVINE, HOPKINS, 2003), de sajnos ez nem teszi a porhanyósabbá a marhahúst az eredetihez képest. A vágás utáni hőmérséklet emelésével és elektromos stimulálással együttesen kezelt minták vizsgálatakor nem mutatható ki eltérés, a főzési és csepegési léveszteségben, viszont a vörös színezet csökkent az elektromosan stimulált minták esetében (BEKHIT et al. 2007).

2.9.3 Hidrodinamikai kezelés

A hidrodinamikai kezelés valójában kontrollált robbantást jelent, már 1970-ben tettek ilyen kísérletet a hús porhanyósítására. A hidrodinamikai kezeléseknél a robbantás kivitelezése, illetve annak bonyolultsága okoz gondot (CLAUS et al. 2001, SOLOMON et al. 1997). A biztonságos üzemi alkalmazás még nem lehetséges.

2.9.4 Késes tenderizer

A mechanikai tenderizálás a késes tenderizer alkalmazása, ami a konnektív hálószerkezetet vágja át. Ezáltal a hőkezelés hatására csökken a zsugorodás mértéke, így nem préselődik ki a hús víztartalma, a hús zaftosabb, porhanyósabb marad (HAYWARD et al. 1980).

PIETRASIK és SHAND (2003) kombinálta a hagyományos tumblert és a késes tenderizert, mialatt 20 illetve 40 % foszfátot juttattak a mintákba. Az eredményeik alapján az alkalmazott kombinációval a főzési veszteség megnőtt.

2.9.5 Nagynyomású kezelés

A nagynyomású kezelés (100 - 800 MPa) a húst puhítja, de sajnos a hús színét adó miooglobin denaturációja következtében színváltozás következik be, a vörös színezet csökken, így a jellegzetes friss hússzín eltűnik (CHEFTEL, CULIOLI 1997). JUNG és munkatársai (2000) vizsgálták a nagynyomású kezelés hatását az állomány - azon belül a Warner - Bratzler vágási erőérték - változására 520 MPa nyomáskezelés után. Tapasztalataik alapján a 4 perc 10 mp - es kezelés hatására a hús porhanyósabb lett, ám a főzési veszteség a kezelés hatására nőtt.

LEDWARD és MA (2004) már érlelt marhahúst kezeltek nagynyomású berendezéssel úgy, hogy a kezelés alatt a hőmérsékletet növelték. A fehérjeszerkezetbeli változásokat DSC vizsgálatok elvégzésével követték nyomon. Azt tapasztalták, hogy a 60 - 70 °C - on 200 MPa nyomásértéken kezelt minták porhanyósabbak lettek. A nagynyomású kezelés a kezelhető minták kis mennyisége, illetve a magas költségek miatt még nem alkalmas a marhahús érlelési idejének csökkentésére.

2.10 Az ultrahang

2.10.1 Ultrahang fizikai jellemzői

Ultrahangnak nevezzük az emberi hallástartomány felső határánál, a 20000 Hz-nél nagyobb rezgésszámú mechanikai hullámokat. Számos élőlény - pl., a denevér, a delfin - használja tájékozódásra és kommunikációra a nagyfrekvenciás passzív ultrahangot. Az ultrahangok fizikai tulajdonságai megegyeznek a hallható hangokéval, de rövid hullámhosszuk miatt terjedésük, a közeghatáron létrejövő törésük és visszaverődésük a fényéhez hasonló. Terjedési sebességük 340 m/s, vízben 1500 m/s érték, nedves közegekben, mint amilyenek a testszövetek is, az 1500 m/s-hoz hasonló érték, amely függ a közeg tulajdonságaitól (keménység, merevség, illetve rugalmasság, sűrűség és gáztartalom).

A közeghatáron történő visszaverődés mértéke attól függ, hogy milyen különbségek vannak az érintkező két közeg fent említett tulajdonságai között.

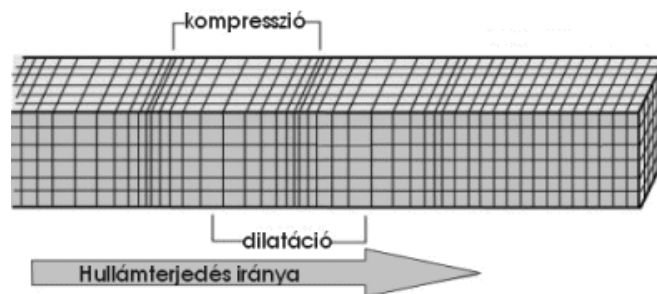
A tudományos életben elfogadott megállapodás szerint az 1 W/cm^2 vagy a 10000 W/m^2 teljesítmény alatt passzív, míg felette aktív ultrahangról beszélünk.

A passzív ultrahang jellemzője a nagy frekvencia és az alacsony intenzitás. Az alacsony intenzitásnak köszönhetően a passzív ultrahang nem okoz szerkezetbeli változást a mintán belül (BUDÓ, PÓCZA 1962).

Az aktív ultrahang alkalmazások fizikai alapjai igen sokrétűek. Főleg a tér együttmozgató hatására, a súrlódásra, a hőhatására és a kavitációra szokás hivatkozni. Ezek közül a legbonyolultabb és egyben a legtöbb aktív hatást okozó fizikai jelenség a kavitáció. Megfelelően nagy frekvenciájú és nagy amplitúdójú nyomásváltozás esetén a húzási félperiódusban a kohéziós erők nem képesek az anyag részecskéit összetartani. Az így keletkező belső üregek a következő nyomási félperiódusban összeomlanak, és eközben helyileg nagy mechanikai energia szabadul fel. A kavitáció majdnem minden aktív ultrahang folyamatban szerepet játszik.

A felsorolt elsődleges fizikai hatások következtében másodlagos fizikai, kémiai és biológiai hatások keletkeznek a besugárzott közegben. Jelentősek a kétkomponensű rendszerekre gyakorolt hatások: maguktól nem keveredő folyadékok tökéletes elkeverés, emulzióképzés, szuszpenziók kicsapatása, koagulálás, gázban lebegő szilárd szemcsék összecsapása. A biológiai hatások közül jelentősek a kis intenzitásnál a sejtek életműködésére gyakorolt serkentő hatás, nagy intenzitásoknál pedig a roncsoló hatás. Vagyis az aktív ultrahang főbb jellemzője, hogy a kezelt mintán szerkezetbeli változást okoz, ami által megváltoztatja annak valamilyen tulajdonságát.

Az aktív ultrahang anyagtulajdonság-befolyásoló képessége az anyagban kialakuló hullám- és akusztikai jelenségekkel függ össze. A longitudinális hullámok terjedése váltakozó kompresszió és depresszió formájában jön létre. A térben egyenlő távolságban sűrűsödések és ritkulások követik egymást. (BÉRCES et al. 2003)

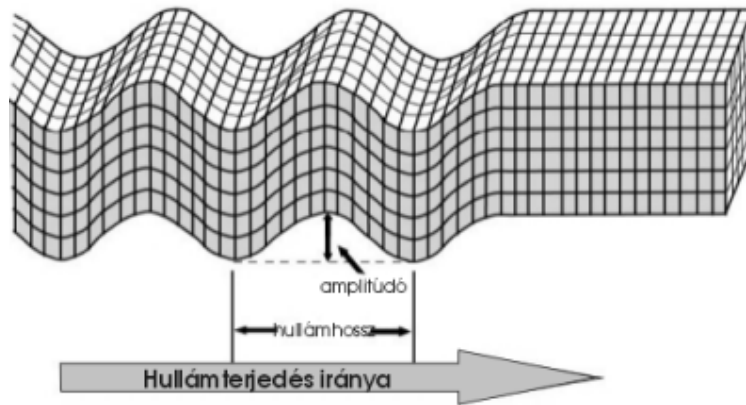


8. ábra Longitudinális hullám
(Forrás: www.fir.seismology.hu)

A térben kialakuló sűrűsödéseket a „hullámhegyekkel”, a ritkulásokat pedig „hullámvölgyekkel” azonosíthatjuk. Gázokban és folyadékokban csak longitudinális hullámok terjedhetnek (8. ábra).

Ha egy test felületét a felületre merőleges irányban rezgésbe hozzuk, akkor a levegőben lévő membrán esetéhez hasonlóan longitudinális hullámok keletkeznek. A gerjesztést a felülettel párhuzamosan végezve, a rezgések transzverzális hullámok formájában terjednek tovább. A szilárd

anyagokban a transzverzális, a longitudinális hullámok és ezek kombinációi terjedhetnek (9. ábra) (TAR 1982).



9. ábra Transzverzális hullám
(Forrás: www.fir.seismology.hu)

2.10.2 Az ultrahang előállításának lehetőségei

A hang és ultrahang előállításának általában az átalakítóknak, rezgékeltőknek nevezett berendezésekkel állítjuk elő. Ezek sugárzókból és annak gerjesztésére való szerkezetből állnak. A gyakorlatban használt átalakítók: - elektromechanikus (elektromágneses, elektrodinamikus, magnetosztrikciós és piezoelektromos), - aerodinamikus, - hidrodinamikus, - mechanikus. A legelterjedtebbek az elektromechanikus átalakítók. Főbb részei a generátor, amely a szükséges frekvenciájú váltakozó elektromos áramot termeli és a sugárzó, amely a generátortól kapott elektromos energiát mechanikai rezgésekké alakítja. A generátor elektromos energiáját ultrahanggá a sugárzók alakíthatják át. Ezek fajtái: elektromágneses, elektrodinamikus, magnetosztrikciós, piezoelektromos.

2.10.3 Az ultrahang terjedésének törvényei

Eltérő akusztikai keménységű közegek határfelületén a hang visszaverődést szenved. Merőleges beesés esetén a visszaverődés foka a következőképpen számítható:

$$R = \left[\frac{\sigma_1 \cdot v_1 - \sigma_2 \cdot v_2}{\sigma_1 \cdot v_1 + \sigma_2 \cdot v_2} \right]^2 \quad (2)$$

Az összefüggésben a σ_1 és σ_2 a közegek sűrűségét, v_1 és v_2 a hang terjedési sebességét jelöli a közegekben. Folyékony szilárd közegek esetében az akusztikai keménység jóval nagyobb, mint a

gázok esetében, ezért folyadék-gáz, szilárd-gáz határfelületén $R \approx 1$, vagyis a hangenergia zöme visszaverődik. Levegőben lévő nagyobb sűrűségű testek között tehát a hangenergia úgy vihető át, ha velük közel azonos sűrűségű közeget, úgynevezett csatoló közeget iktatunk a sugárzó és a test közé, kiküszöbölve a (2) összefüggésben leírt hatást. Ha pl. ultrahangot akarunk szövetekbe juttatni, a sugárzó fej és test közti levegőréteg helyét vízzel vagy kontakt géllal kell kitölteni.

A hang terjedésekor intenzitása csökken. Párhuzamos nyaláb esetén a hang intenzitásának csökkenése exponenciális függvény szerint megy végbe. Az ultrahang a hallható hanghoz képest intenzitásában erőteljesebben gyengül (HARKÁNYI 1988).

2.10.4 Az állóhullám

Állóhullám akkor keletkezik, ha egyazon helyen két azonos hullámhosszú hullám egymással ellentétes irányban halad át. Akusztikai állóhullám esetén természetesen a közeg nincs nyugalomban, de a hangnyomás és a részecskesebesség maximumai és minimumai a térben nem mozdulnak el. Leggyakrabban akkor jön létre, ha két különböző tulajdonságú közeg határfelületén egy hullám visszaverődik, és „saját magával” találkozik, interferenciát létrehozva.

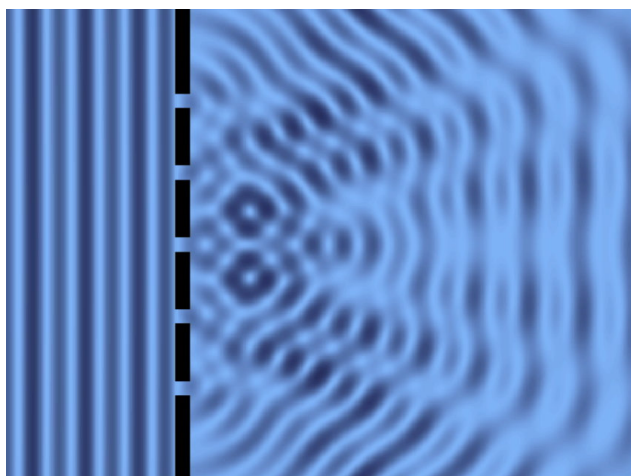
A határfelület milyenségétől függően a következő esetek lehetnek:

Ha **akusztikailag kemény fal** veri vissza a merőlegesen érkező hullámot, akkor a határfelületen a részecskesebesség nulla lesz, a hangnyomás pedig maximumot ér el (Pl. fedett orgonasíp zárt vége).

Ha **akusztikailag lágy fal** veri vissza a merőlegesen érkező hullámot, akkor a határfelületen a nyomáskülönbség kiegyenlítődik, nulla lesz, a részecskesebesség viszont maximális (pl. sípok nyitott vége).

A leggyakoribb eset, hogy a hangvisszaverő felület valahol e két véglet között van, **se nem kemény, se nem lágy**. Ebben az esetben a hullám bizonyos mélységben behatol a hangvisszaverő közegbe, és csökkent amplitúdóval verődik vissza (TARNÓCZY 1963).

Huygens-elv: a hullámtérben a közeg minden egyes pontja az odaérkező hullám hatására pontszerű gömbi hullámforrássá válik. Azaz a hullámfront minden pontja újabb hullámforrás, amelyből további hullámok indulnak ki. A hullámfelület tehát mindig felfogható úgy is, mint egy korábbi hullámfelületről odaérkező elemi gömbhullámok burkoló felülete (10. ábra). A Huygens-elv alkalmas a törés és visszaverődés törvényének magyarázatára. Bizonyos megszorításokkal az elhajlásjelenségek is értelmezhetők segítségével (TAR 1982).



10. ábra Huygens-elv

(Forrás: <http://www.fizkapu.hu>)

2.10.5 Az aktív ultrahang kísérőjelenségei

2.10.5.1 Akusztikai kavitáció

Az akusztikus kavitáció, azaz ultrahangos besugárzással létrehozott buborékképződés. Ha egy folyadékban buborékok alakulnak ki, és azokat megfelelő frekvenciájú és intenzitású ultrahanggal besugározzák, méretük egy ideig növekszik, majd hirtelen összeroppan (FLYNN 1964). Az összeroppanás folyamata alatt a buborék belsejében rendkívül nagy nyomás és magas hőmérséklet alakul ki, amely a gőzfázisban lévő molekulákat gerjeszti. A molekulák fény kibocsátásával szabadulnak meg energiájuktól, a buborékok összeroppanását fényvillanások kísérik, amelyek hullámhossza az ultraibolya tartományba is eshet.

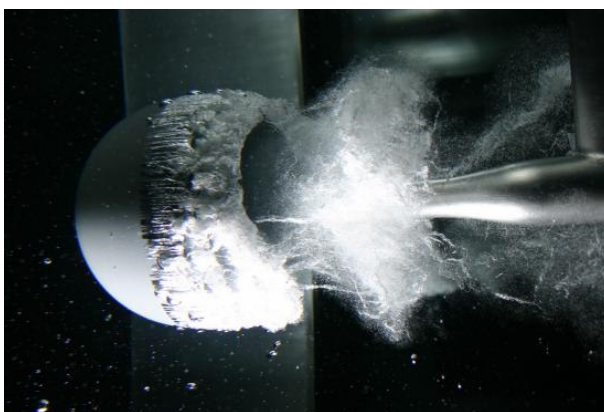
Az akusztikus energia tehát speciális körülmények között fényenergiává alakulhat át, ezt a jelenséget nevezik szonolumineszcenciának (CRUM 1994). MILLER (1987) tanulmánya szerint a sejtek szétesésének főbb oka a mikroáramlások létrejötte, az áramló buborékok körüli nyírófeszültség, a buborék összeomlásakor kialakuló folyadéksugár kilövellés és a szonokemikáliák kialakulása.

2.10.5.2 Tranziens (tehetetlenségi) kavitáció

A kavitációs üreg egy akusztikai ciklus során megnövekszik, majd hirtelen összeomlik. A szilárd fal melletti kavitációs üreg tranziens összeomlása során, a kavitációs üreg szilárd felőli oldalán a

szabad folyadék felöli oldalához képest a közegáramlás összetevője erőteljesen csökken (11. ábra). Ezért a kavitációs üreg falának mozgása a középpontjához képest asszimmetrikussá válik. Ezáltal az üreg folyadékból alkotott falának a szilárd fallal ellentétes oldala nagyobb sebességre tesz szert. Ezért az üreg falának asszimmetrikus egyre gyorsuló mozgása a leggyorsabb részen egy túszerű folyadéksugár kialakulását eredményezi, ami tehetetlensége miatt nagy sebességgel átdöfi a buborékot. Ezáltal a vele szemben elhelyezkedő szilárd falat, így például sejteket, erőteljesen erodálja (KUTTRUFF 1991).

Amennyiben a kavitáció nem a szilárd fal mellett omlik össze, úgy inkább a kémiai roncsoló hatás érvényesül, mivel a tranziens kavitáció során a molekulák széttöredezése is megfigyelhető. A molekulák roncsolódása főleg az erőteljes mechanikai lökéshullámoknak, a mikroáramlásoknak, illetve az összeomláskor kialakuló 10 - 35000 K hőmérsékletnek és a több ezer bar nyomásnak köszönhető (SCHNETT et al. 1992). A tranziens kavitáció jelensége érzékelhető emberi fül számára is, rendkívül magas frekvenciájú sziszegő hang hallható.



11. ábra Tranziens kavitációs üreg összeomlás pillanatában
(Forrás: <http://www.amc.edu.au/>)

2.10.5.3 Stabil kavitáció

Stabil kavitációról akkor beszélünk, ha a buborék számos cikluson keresztül oszcillál, a térből való távozás, vagyis felszínre vándorlás, illetve összeomlás nélkül és a depresszió alatt mérete csökken, majd az ellenkező fázisban újra kitágul, mivel gőzt tartalmaz (FLYNN 1964). A stabil kavitáció kisebb akusztikai nyomás amplitúdók esetén jön létre. A buborék adott feltételeknek megfelelő egyensúlyi sugár körüli oszcillálódik több ezer ciklusnyi növekedési időtartammal (ATSCLEY, CRUM 1988).

2.10.5.4 Akusztikai áramlás

Az akusztikus áramlás az ultrahang hatására folyadékban kialakuló jelenség, amely a folyadék nem lineáris viselkedése következtében alakul ki. A jelenség oka, hogy a folyadék kevésbé nyomható össze, mint amennyire ki tud tágulni, illetve a térben nem egységes az energiadiSSIPáció. Az áramlást a tehetetlenségi erő által a folyadék dinamikájának nemlineáris viselkedése és a hajtóerőként funkcionáló nemlineáris akusztikai áramlás biztosítja.

Az akusztikai áramlás állandó folyadékmozgást jelent, amit az intenzív ultrahang okoz. Akusztikai keverőhatás akár az élelmiszer-, akár a vegyipar, bio- és környezettechnika számára tartogat újdonságokat, ugyanis a keverés mellett „egy menetben” megvalósítható a diszpergálás (emulzió és szuszpenzió előállítás), a csírák serkentése, vagy éppen gátlása, roncsolása (NEMÉNYI, LŐRINCZ 2000).

2.10.5.5 Atomizáció

Az atomizáció az akusztikai áramlás járulékos hatása. Ez a jelenség az ultrahanggal besugárzott folyadékok kiporlasztását jelenti. Ez a jelenség akkor jelentkezik, ha eltérő sűrűségű, egymással nem elegyedő folyadékok helyezkednek el rétegesen egymás felett (alul a sűrűbb), és a besugárzás felülről történik. Amikor az ultrahangos besugárzás alulról történik, akkor az alsó, nehezebb közeg felé alakul ki a szökőkút alakzat, de kiporlasztás nem jön létre (LŐRINCZ 2006).

2.10.5.6 Az ultrahang hőhatása

A hanghullámok minden anyagban frekvenciájuktól, a hullám típusától, a hőmérséklettől, illetve az anyag tulajdonságaitól függő mértékben adszorbeálódnak a rezgési energia irreverzibilis hővé alakulása következtében. Az abszorbeált energia hővé alakul, és a közeget felmelegíti. Ez a tény a hipertermia alapja.

Az ultrahang hőhatása elegendő lehet a biológiai struktúrák és a kémiai folyamatok befolyásolásához. A koncentrált ultrahang sugár segítségével akár az emberi test bármely pontján elhelyezkedő objektum megcélózható, ahol a hőmérséklet-emelkedés hatására a fehérjék denaturációja következik be. Az abszorpció miatt az ultrahang intenzitása a távolsággal exponenciálisan csökken, és intenzitást a hangtér egy adott pontján az alábbi egyenlet (3) fejezi ki:

$$I = I_0 \cdot e^{-2\alpha x} \quad (3)$$

I_0 [Wcm^{-2}] vagy [dB] a kiindulási, kibocsátott intenzitás, (I) az aktuális intenzitás [Wcm^{-2}] vagy [dB], (α) az abszorpciókoefficiens [$\text{Np/cm}=8,7 \text{ dB/cm}$], (x) pedig az adott irányban megtett távolság [cm]. A hőképződés (q_v) [J/s] pedig a következő (4) egyenlet szerint alakul:

$$q_v = \frac{2 \cdot \alpha \cdot I}{c \cdot m} \quad (4)$$

(c) a fajhő [kJ/kgK], (m) a kezelt anyag tömege [kg] (FRY 1978).

2.10.6 Az aktív ultrahang élelmiszer-ipari alkalmazása

A biológiai rendszerekbe - és azokon áthatoló 20 - 100 kHz frekvenciájú ultrahang az anyag összenyomását és eredeti alakjának és méretének visszanyerését okozza, miközben nagy energiát közöl azzal (BROWN, GOODMAN 1971). Az 1 W/cm^2 -nél nagyobb intenzitású ultrahangot nevezzük aktív ultrahangnak. Ismert jelensége a kavitáció, vagyis a mikro-méretű buborékok szétpattanása, amelyek sokkoló erejű hullámokat hoznak létre.

Nagy intenzitású ultrahang alkalmazása növeli a só diffúzióját a húsban, zsír - víz emulzió kialakítására képes, és a hús érlelését, porhanyósságát növeli (DOLATOWSKI 1988; SAJAS, GORBATOW 1978). REYNOLDS et al. (1978) tanulmányukban ismertetik az aktív ultrahang pozitív szerepét a pácolási technológiában. A kezelések hatására a hullámok által gerjesztett energia egy része hővé alakul, így a nagy intenzitású ultrahang alkalmas húsipari termékek hőkezelésére is (POHLMAN et al. 1997a; REYNOLDS et al. 1978). Az alacsony frekvenciájú ultrahang az izom rostjait feltárja, a sejtek membránjait roncsolva lizozim enzimet szabadít fel, ami a szarkoplazmában gyorsítja a proteolízist (RONCALES et al. 1992).

Az ultrahang behatás következtében a transzport folyamatok felgyorsulnak (MASON et al. 1996). Az ultrahang hullámok által generált kavitációs buborékok összeomlása révén nagy nyomáskülönbségek jönnek létre, amelyek a sejtfalat roncsolják (SIMAL et al. 1998). Az ultrahang tömegmozgató hatásait vizsgálták többen, amely a szerkezet megváltoztatásán alapul. Ezek közé tartoznak a „szivacs effektus” (STOJANOVIC, SILVA 2007) az akusztikus áramlások, a mikroáramlások (MASON et al. 1996) illetve a mikroszkopikus csatornák kialakulása (CÁRCEL et al. 2007a) is.

Még a magas koncentrációjú oldatokban kezelt élelmiszereknél, mint a telített sóoldatban pácolt húsnál jellemző a lassú diffúzió, a viszonylag lassú anyagátadás. Ennek gyorsítására a nagy intenzitású aktív ultrahang alkalmazása (CÁRCEL et al. 2004; CÁRCEL et al. 2007) jelenthet megoldást.

A nagy intenzitású ultrahang hullámok a folyadékokban lévő buborékok növekedését és összeomlását okozzák, ez az úgynevezett kavitáció jelensége. A kavitációs buborékok a szabálytalan pulzálásukkal magukba zárják a szilárd anyagot, majd a buborékok összeomlásával kilövellik azt a kezelt minta felületére, így a határréteg megváltoztatásával az anyagátadást befolyásolják.

Az ultrahang említett hatásainak köszönhetően gyorsíthatók az anyagátadási folyamatok az élelmiszerek többségénél a gyártási, műveleti folyamatokban. Továbbá más kutatók a hús pácolása során alkalmazták az ultrahangot különböző intenzitás és frekvencia - tartományban (SAJAS, GORBATOW 1978). Tapasztalataik szerint az ultrahang eredményesen alkalmazható a diffúziónél a páclé beinjektálást követően.

Az ultrahang alkalmazása az egyik további lehetőség a porhanyósításban a szövetek roncsolása, az izomrostok egymástól való távolságának növelése által. A kezelés során az ultrahang hatására kialakuló kavitáció során keletkező mikro-buborékok megváltoztatják a miofibrillumok felületét és kapcsolódását. Napjainkban, széles körben alkalmazott a kutatásokban a biológiai anyagoknál az ultrahang kavitációs jelensége (MCCLEMENTS 1995).

Számos kutató vizsgálta az alacsony frekvenciájú ultrahang hatását a húsok porhanyósságára (JAYASOORIYA et al. 2007). Néhány tanulmány az mutatja, hogy a porhanyósság növekszik az alacsony frekvenciás (22 - 40 kHz) kezelések által (DICKENS et al. 1991; DOLATOWSKI 1989). 25,9 kHz feletti frekvenciájú ultrahang 4 perces kezelése esetében nő a puhaság. Azonban a hosszabb, 8 - 16 perces kezelési időknél a hús keményedik (SMITH et al. 1991).

Egyéb vizsgálatok szerint az alacsony 0,29 - 1,55 W/cm² közötti intenzitású ultrahangos kezelés nem puhítja a hús állományát (LYNG et al. 1997; POHLMAN et al. 1997b). Ugyancsak hatástalan a nagy intenzitású (62 W/cm²) ultrahang 15 másodperces kezelése is, mert az oldhatatlan kollagén mennyisége és a porhanyósság sem változik lényegesen az 1., a 3. és a 7. napon a kezeletlenhez képest (LYNG et al. 1998a; LYNG et al. 1998b).

POHLMAN et al. (1997a) különbözőképpen kezelt nyers húsok hőkezelésére alkalmazta az aktív ultrahangot. Vizsgálták a léveszteséget és az állományváltozást, ami nem mutatott szignifikáns eltérést.

GOT et. al (1999) pre- és postrigor állapotú húsok nagy intenzitású (10 W/cm²) és nagy frekvenciás (2,6 MHz) kezelését végezték. Az alkalmazott frekvenciák hullámhossza kisebb, mint 1 µm, ami megegyezik az izomnyalábok elsődleges szerkezetével. Ezáltal az ultrahang hullámok az izomnyalábok közötti teret nagyobb mértékben növelhetik. A kezelés hatására a sejtmembrán sérül, a porhanyósság nő, az izomrostok fizikai stabilitása gyengül, gyorsulnak a proteolitikus folyamatok,

vagyis a lizozim enzim hatására a katepszinek a fehérjebontást megindítják, illetve az intracelluláris állományban lévő kalcium ionok aktiválják a kalpain. A vizsgálat 3. és 6. napja között az ultrahangos kezelés előnyös változás mutatott, de az a 14. napon már nem volt mérhető differencia a kezelések hatására.

3 Célkitűzés

A dolgozatom céljával tűztem ki ezek alapján, hogy feltérképezsem a marhahús érése során végbemenő, fizikai, kémiai és biokémiai folyamatokat.

A fentiek ismeretében célom volt megvizsgálni:

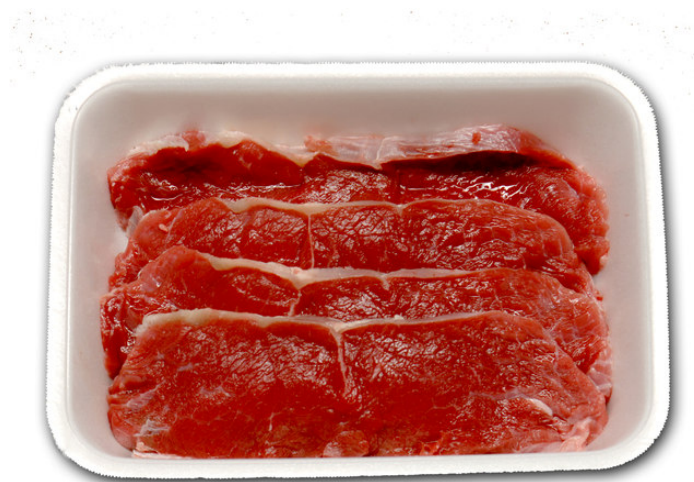
- Milyen hatást gyakorol az előhűtés után alkalmazott 0 - 1°C - os illetve + 5°C - os érlelési hőmérséklet a marhahátszín fizikai, kémiai és mikrobiológiai állapotára, fehérjeszerkezetére, valamint az érzékszervi bírálattal követhető - e a húsérés, porhanyósodás folyamata.
- Milyen eltérések tapasztalhatóak a marhahátszín 0 - 1°C - os illetve + 5°C - os érlelése során a fizikai, kémiai, érzékszervi, mikrobiológiai tulajdonságaiban illetve fehérjeszerkezetében és membránpermeabilitásában.
- Az SDS - PAGE gélelektroforézis módszer alkalmas - e a marha hátszín érési fázisainak nyomonkövetésére, mely fehérjemolekulák válnak láthatóvá az elektroforetikus módszer alkalmazásával.
- Gyorsítható-e az érés folyamata aktív ultrahang alkalmazásával, illetve az ultrahangos kezelés milyen hatást gyakorol, az állományra a fehérjeszerkezetre illetve a membránpermeabilitásra.

4 Anyag és módszer

4.1 A vizsgálatok alapanyaga

4.1.1 Minta előkészítése

A marhahús érési folyamatainak feltérképezéséhez a kísérletsorozatok alapanyagául marha hátszín választottam, a hátszín alkalmas a steak sütésre, és viszonylag homogén alapanyag. Az érlelési kísérletben felhasznált marhahús mintákat közvetlenül a daraboló üzemből, a vágás után 24 óra elteltével szereztem be (12. ábra).



12. ábra Marha hátszín

(Forrás: Saját felvétel)

A negyedtestek, illetve a szarvasmarhák, egy azon magyarországi élőállat telepről származó, azonos takarmányozási és nevelési feltételek mellett tartott Magyartarka fajtájú fiatal bikák voltak. Koruk 14-26 hónap közötti volt. Az üzemben megtörtént a hátsó negyedtestek darabolása és csontozása. Kicsontozott marha hátszín mintákat kb. 40 cm hosszúságúra vágva, egyedileg vákuumtasakba csomagoltam. A minták tömege eltérő volt, 2600-4300 g között változott.

4.2 Az érlelési kísérlet

4.2.1 A marhahús érés vizsgálata

Az érés alatt bekövetkező változások vizsgálatára az első kísérletsorozat összeállításánál figyelembe vettem, hogy a mikrobiológiailag biztonságos termék előállításához, alacsony hőmérséklet alkalmazása szükséges. A mintákat 27 napra 0 - 1 °C közötti hőmérsékletű hűtőtérbe helyeztem. Mivel a hőmérséklet emelésével aktiválódnak a porhanyósságot elősegítő enzimek, így az érlelési kísérletet + 5 °C - os hűtőtérben is elvégeztem. A hőmérsékletingadozást a hűtőtérben speciális, hőmérsékletszenzorral ellátott RFID tag segítségével végeztem. A hőmérsékletingadozás az érlelési kísérletek során 0 - 1 °C volt. Az egy napon vizsgált minták párhuzamosainak száma három volt.

Az érés során a következő vizsgálatokat végeztem:

- pH
- Szín
- Állomány (TPA, WB)
- Érzékszervi minőség
- Mikrobiológiai állapot
- Csepegési léveszteség
- Fehérjeszerkezet változás (PAGE-ELFO)
- Fehérjeszerkezet változás (DSC)
- Ionkiáramlás változásait.

A minták csomagolása 70 µm vastagságú EVOH fólia volt. Adatait a 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat A csomagoláshoz használt fólia adatlapja

O ₂ áteresztő képesség (23°C, 0% RP)	cm ³ /m ² ,24óra, bar	30
CO ₂ áteresztőképesség (23°C, 0% RP)	cm ³ /m ² ,24óra, bar	80
Vízgőzáteresztő képesség	g/24óra,m ²	10

4.2.2 A minták kezelése aktív ultrahanggal

A 2 cm vastag hátszín mintákat egyedileg vákuumtasakba csomagoltam, majd 8 °C - os vízzel töltött ultrahangos kezelőtérbe helyeztem. Egy- egy szelet minta tömege 160 - 180g között változott. A minták kezelését Active Ultrasound Laboratory típusú (400W/20kHz), nagy intenzitású ultrahangos mechanikai rendszer segítségével végeztem (13. ábra).

Az ultrahangsugárzó fej cserélhető, a kezelések során a legnagyobb (5 cm) átmérőjű feltétet használtam. A kezelés során 20 kHz frekvenciájú, 3 W/cm² intenzitású ultrahanggal kezeltem a marhahúsmintákat 60, illetve 90 percig.



13. ábra Ultrahang generátor a szabályozó egységgel

(Forrás: <http://huto.uni-corvinus.hu>)

Ezek után 0 - 1 °C - os és + 5 °C - os hűtőtérbe helyeztem a mintákat. Az érlelési kísérlet alatt vizsgáltam a minták:

- Állomány változását (TPA, WB)
- Fehérjeszerkezet változását (PAGE-ELFO)
- Szerkezet változás (DSC)
- Ionkiáramlás változásait.

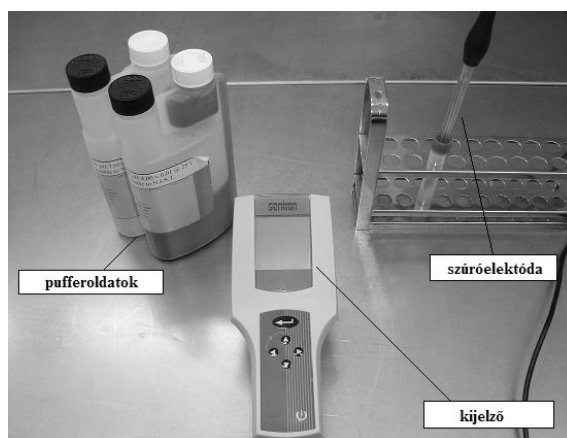
4.3 Alkalmazott vizsgálati módszerek

4.3.1 A nyers húsminták pH-értékének meghatározása

A pH érték elektrokémiai meghatározása az oldatba merülő két elektród (referencia és mérő) közötti feszültségkülönbségen alapul. A referencia elektród (általában telített kalomer) feszültsége független a vizsgált minta pH -jától, a mérő (indikátor) elektród feszültsége, pedig arányos a minta H⁺ koncentrációjával. A pH mérő készülékek a kalomel és az üvegelektrod közötti feszültségkülönbség hatására keletkező áram erősségét mérik, a két elektródot a kombinált üveg elektródban egy testbe építik be, így a méréshez csak egy elektródot kell használni.

A pH mérő készüléket a mérések előtt kalibráltam a használt referencia-oldatok pH -ja 4 illetve 7 volt. A párhuzamos mérések száma szeletenként három volt. A szűrőelektrodát a kalibrálás után a húsba szúrtam, majd a kijelzőről leolvastam az értéket. A párhuzamos mérések között minden esetben desztillált vízzel leöblítettem és szárazra töröltem a szűrőelektrodát.

Az 14. ábrán a Sentron cég Argus X pH mérő készüléke látható az ISFET típusú szűrőelektróddal.



14. ábra Argus X készülék szűrőelektróddal és pufferoldatokkal

(Forrás: <http://huto.uni-corvinus.hu>)

4.3.2 Színmérés

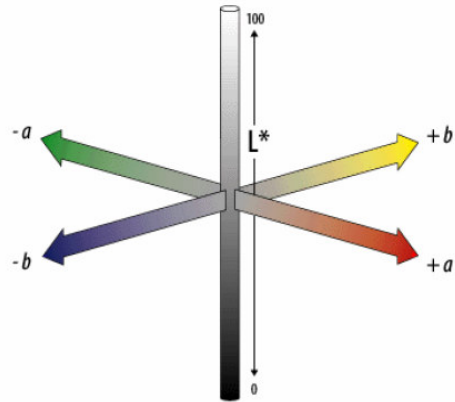
Az érlelés során a minták felületén bekövetkezett színváltozások vizsgálatára Minolta CR-200 típusú tristimulusos színmérőt használtam, amely 15. ábrán látható. A mérés az additív színkeverés elvén alapul, amely szerint bármely szín előállítható három, adott hullámhosszú fény keverékeként.

A három dimenziós CIELAB színínger rendszerben (16. ábra):

L^* - világossági tényező (azt mutatja meg, hogy tárgy a megvilágító fény hány százalékát veri vissza) $+a^*$ - vörös színezet, $-a^*$ - zöld színezet, $+b^*$ - sárga színezet, $-b^*$ - kék színezet. A színíngertérben két színpont közti színkülönbséget az alábbi egyenlettel lehet számolni:



15. ábra Minolta típusú tristimulusos színmérő
(Forrás: <http://huto.uni-corvinus.hu>)



16. ábra CIELAB színíngertér értelmezése

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (5)$$

ahol ΔE^* = színkülönbség,

$$\Delta L^* = L^*_{\text{minta 1}} - L^*_{\text{minta 2}},$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{minta 1}} - a^*_{\text{minta 2}},$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{minta 1}} - b^*_{\text{minta 2}}$$

A 7. táblázatban azok a színkülönbség értékek szerepelnek, amelyek esetében az átlagos emberi szem már észleli a színkülönbséget.

7. táblázat Az emberi szem által érzékelhető színkülönbségek

ΔE^*_{ab}	érezelt különbség
0 ... 0,5	nem vehető észre
0,5 ... 1,5	alig vehető észre
1,5 ... 3,0	Észrevehető
3,0 ... 6,0	jól látható
6,0 ... 12	Nagy

A színmérés során a csomagolt mintákról eltávolítottam a vákuumcsomagolást, 20 percig a légtörő levegőn hagytam, majd három párhuzamos mérést végeztem különböző helyen szeletenként.

4.3.3 Léveszteség meghatározása

Léveszteség, meghatározása tömegmérés alapján történt a kezdeti húsminta - tömeg és a vizsgálatkor mért húsminta tömegének mérésével.

4.3.4 Érzékszervi bírálat

Érlelt marhahúsból készített steak omlóssága és porhanyóssága élvezhető és érzékelhető leginkább. Magyarországon kevesen ismerik a jó steak elkészítésének technológiáját, illetve a jó steak ismérveit. Ezek alapján, egy általában 10 főből álló bírálópanel végezte az érzékszervi bírálatot. A bírálati lap egyéni, a stekekre jellemző tulajdonságok összeállításával (omlósság, lédúság, puhaság, íz, összbenyomás) preferencia vizsgálattal történt. Tulajdonságonként maximum 5 pontot adhattak a bírálók az egyes tulajdonságokra. A bírálati lap a dolgozat M2 mellékletét képezi.

A mintákat 2 cm vastagra szeletelve sütöttem NATTRESS és JEREMIAH (2000) által alkalmazott paraméterek mellett. A minták a steaksütés során a MEDIUM (közepes) átsütöttségi szintet érték el.

4.3.5 Állományváltozás mérése

A minták 2 cm vastagok illetve 210 - 180 g közötti tömegűek voltak. Az állományméréshez a minták hőkezelésére termosztátban került (HWANG et al. 2004). A minták hőkezelése szeletenként, vákuumcsomagolva, 67 °C - on 15 percen keresztül történt.

A minták hőmérséklete a mérés alatt szobahőmérsékletű (24 °C) volt, mivel a próbakísérletek során bebizonyosodott, hogy a hőmérséklet nagymértékben befolyásolja a minta állomány jellemzőit. A minták állományának vizsgálatát Stable Micro System (SMS) készülékkel végeztem (17. ábra).



17. ábra Stable Micro System
(Forrás: <http://huto.uni-corvinus.hu>)

4.3.5.1 Az állománymérés, TPA állományprofil analízis módszerével

A hőkezelést és a hűtést követően az állományprofil - analízishez (TPA=Texture Profile Analysis) henger alakú, 1,25 cm átmérőjű, 2 cm vastag próbatestet vágtam, amelyet magasságának 70 %-áig nyomtam össze. Szeletenként 6-7 próbatestet vágtam, így a párhuzamosok száma 14-16 között volt.

A módszer lényege, hogy az emberi harapást utánozva a vizsgálandó anyagból készített próbatestet kétszer összenyomják, olyan mértékben, hogy a belső szerkezete megroppanjon. A felvett erő - deformáció (idő) görbéről leolvasott, illetve az adatokból számolt jellemzők az érzékszervi úton történő elemzéssel jól összehasonlítható eredményeket szolgáltatnak.

A 18. ábrán látható állományprofil analízis görbe jellemzői:

F_b [N] a minta belső szerkezetének megroppantásához szükséges erő, amelynek értéke alatt a változás reverzibilis, biológiai folyáshatár,

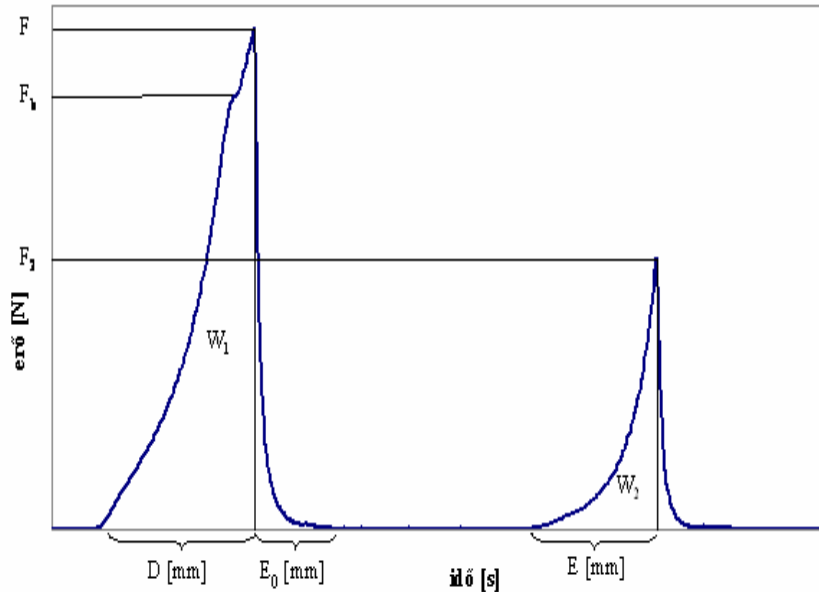
F_1, F_2 [N] az adott deformáció eléréséhez szükséges, már irreverzibilis változásokat okozó erő az első illetve második összenyomás során, a minta legnagyobb deformációhoz tartozó keménysége,

D [mm] deformáció mértéke,

E_0 [mm] a minta azonnal visszanyert magassága,

E [mm] a minta visszanyert magassága a deformáló erő megszüntetése után, rugalmasság,

W_1, W_2 [J] az adott deformáció eléréséhez szükséges munka az első illetve második összenyomás során, a görbe alatti terület az első illetve a második összenyomásig,



18. ábra Állományprofil görbe jellemzői

A fenti adatokból számított paraméterek

K kohézió, a mintát összetartó belső kötések ereje,

$$K = W_2/W_1 \text{ (dimenzió nélküli)} \quad (6)$$

R [J] rághatóság, a szilárd élelmiszer teljes szétrágásához szükséges energia, mértéke a keménység, kohezivitás és rugalmasság elsődleges paraméterekhez kapcsolódik,

$$R = F_1 * K * E \quad (7)$$

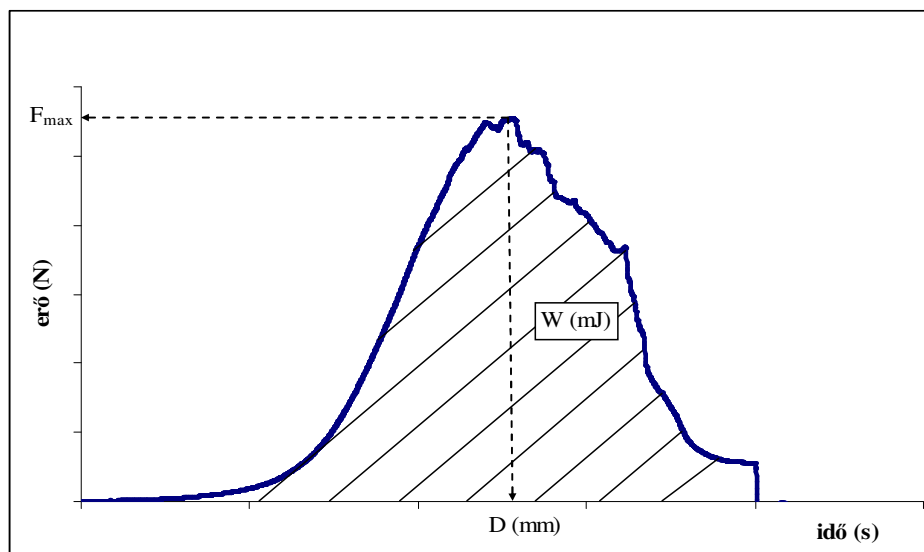
4.3.5.2 Állománymérés a Warner - Bratzler cella alkalmazásával

A hőkezelést és a hűtést követően a Warner - Bratzler cella alkalmazásával történő állományméréshez 2 cm széles próbatesteket vágtam majd a cella segítségével a teljes átvágásig metszettem. Szeletenként 3 próbatestet vágtam, melyeket 3 cm-enként vágtam el. Így a párhuzamosok száma 9 - 12 között volt.

A mozgó penge hossza 100 mm, szélessége 70 mm, vastagsága 2 mm, benne 60° - os csúcshögű fordított V alakú kivágás. A penge a cella rögzített részének oldalán kialakított vezetősínben csúszik végig, majd a cella alján lévő részbe illeszkedve teljesen elvágja a behelyezett mintát. A mérőcellával azt a folyamatot lehet utánozni, amikor az élelmiszerből a metszőfogainkkal egy falatnyit kiharapunk.

A mérés során a lefelé mozgó vágóél egyre nagyobb felületen érintkezik a mintával, ezáltal az összenyomás mértéke (és a minta ellenállása) nő. A vizsgálati anyagra jellemző deformációs erő

értékénél a penge belevág a mintába, amely a továbbiakban összenyomódik és maximális ellenállást fejt ki (F_{max} , N, D, mm). Ezután a vágóél a teljes keresztmetszetében átvágja a mintát. A görbe alatti terület (W , mJ) adja a vágáskor befektetett munkát. A keresztfej sebessége 100 mm/perc volt, az adatgyűjtés 20 pont/sec sebességgel történt (19. ábra). A méréshez 1 kN-os erőmérő cellát használtam.



19. ábra Warner - Bratzler vágócellával kapott tipikus állománygörbe

4.3.6 Mikrobiológiai vizsgálatok

A mikrobiológiai vizsgálatok kiterjedtek az anaerob összes élő csíra, tejsavtermelő, *E. coli.*, *Pseudomonas*, valamint mezofil aerob és fakultatív anaerob baktériumok számának vizsgálatára. 2073/2005 EK direktíva és a 4/1998.(XI.11.) EüM rendelet.

4.3.6.1 Anaerob összes élő csíraszám meghatározása

A beoltásokat 48 órán át 30°C hőmérsékleten aerob viszonyok között inkubáltam, majd értékeltem. A különböző hígítások pozitív tenyészei számának megállapítása után kiszámítottam a vizsgálati minta 1 g-ban az aerob összcsíraszámot (MSZ 3640/4-86). Az összcsíraszám meghatározását minden esetben három párhuzamos minta vizsgálata alapján végeztem.

4.3.6.2 Tejsavbaktériumszám meghatározása

A húsmintákból, vett mintákból hígítási sorozatot készítettem, majd szélesztettem 0,1 ml oldatot a szelektív táptalajon majd inkubáltam 48 órán át 30°C - on aerob feltételek között. Az inkubálási idő elteltével telepszámlálást végeztem, majd a hígítási sor figyelembe vételével számítottam a tejsavbaktérium számot, g tömegre nézve (MSZ EN ISO 15214: 2005). A tejsavbaktériumszám meghatározását minden esetben három párhuzamos minta vizsgálata alapján végeztem.

4.3.6.3 Az *E. coli.* szám meghatározása

A beoltott tenyészeteket 30 °C hőmérsékleten 48 órán keresztül inkubáltam. A szubkultúrában gázképződést mutató tenyészetek számából az MSZ 3640-18: 1979 szabványban leírtak szerint kiszámítottam a vizsgálati anyag 1 g-ban levő *E. coli.* baktériumok számát. Az *E. coli.* számának meghatározását minden esetben három párhuzamos minta vizsgálata alapján végeztem.

4.3.6.4 *Pseudomonas spp* meghatározása

A pszeudomonaszok megfigyelése érdekében GSP agar felületére 0,1 ml szuszpenziót szélesztettem. A petricsészéket 30°C-os termosztátba helyeztem. A 72 óra inkubációs idő után értékeltem a lemezeket (MSZ 3640-7: 1980). A *Pseudomonas ssp.* szám meghatározását minden esetben három párhuzamos minta vizsgálata alapján végeztem.

4.3.6.5 Mezofil aerob és fakultatív anaerob baktérium szám meghatározása

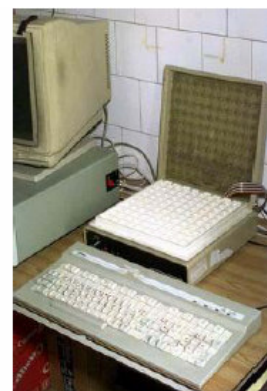
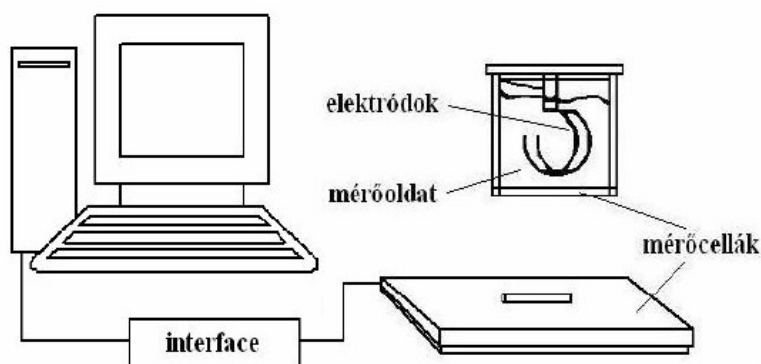
A mintákat az MSZ EN ISO 4833:2003 szabvány alapján vizsgáltam. A mezofil aerob és fakultatív anaerob baktérium szám meghatározását minden esetben három párhuzamos minta vizsgálata alapján végeztem.

4.3.7 A marhahús membránpermeabilitásának meghatározása

A membránpermeabilitás-változás jellemzése a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék Labvig OE-420 típusú 100 cellás vezetőképesség-változás mérő berendezésével történt (20. ábra).

Az ultrahanggal kezelt illetve kontroll mintákból 0,36 és 0,4 g közötti mintamennyiség került az egyes cellákba, amelyek 3 cm^3 0,3M-os mannit oldattal voltak töltve. Az ionkiáramlás a cellákban levő mannitoldatban bekövetkező áramerősség (I , μA) azaz vezetőképesség - változásként került meghatározásra szobahőmérsékleten. Ezek alapján a membrán féligáteresztő képességében bekövetkező változás dinamikája jellemezhetővé vált.

A minták oldatba helyezése után a mintavételezés 2 majd 5 percenként történt. A vizsgált időintervallum 50 perc volt. A kapott görbék a várt telítődési görbék helyett közel lineáris összefüggést mutattak, ezek alapján a pontokra illesztett egyenesek jellemző paramétereivel végeztem a statisztikai értékelést.



20. ábra Labvig OE-420 típusú vezetőképesség-változás mérő berendezés
(Forrás: LOVÁSZ et. al 1998)

4.3.8 Poliakrilamid-gélelektroforézis vizsgálat

A mérések során alkalmazott analitikai tisztaságú oldószerek és vegyszerek a Reanal Finomvegyszergyár Rt. és a Bio-Rad Magyarország Kft termékei voltak.

A gélek futtatását, Bio-Rad Mini-PROTEAN 4 Cell (21. ábra) készüléken végeztem. A minták digitalizálása Gel Doc XR Scanner (22. ábra) segítségével történt, az értékelést Quantity One (ver. 4.6.8.) szoftverrel végeztem. A mérések elvi alapjaihoz LAEMMLI (1970) módszere szolgált.



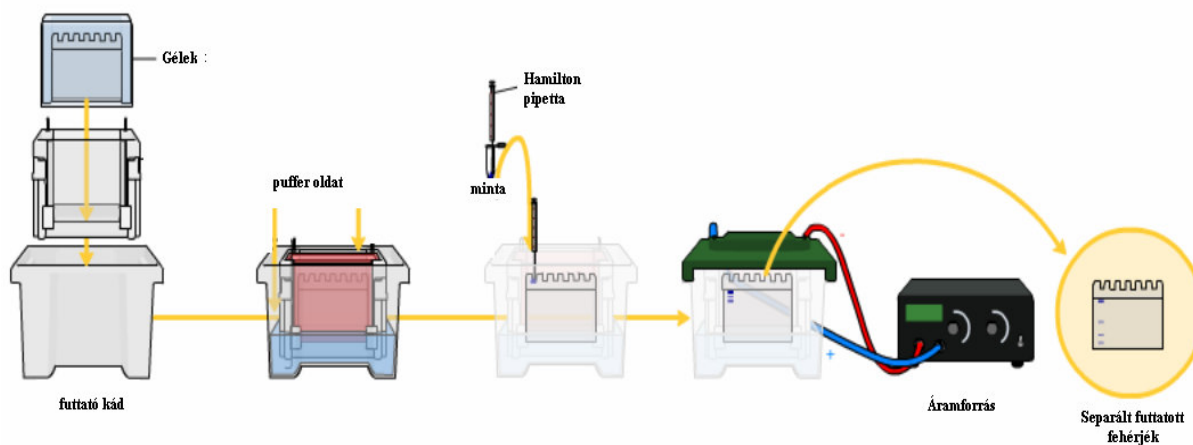
21. ábra Bio-Rad Mini-PROTEAN 4 Cell



22. ábra Gel Doc XR Scanner

A minta előkészítése:

5 g apróra vágott mintát 15 ml mintaoldó pufferben (Mintaoldó puffer: 1% SDS; 0,1 M TRIS; 20 % glicerín (87%); 1% β -merkaptó - etanol, 0,6 M KCl, 1mM EDTA, 0,05% brómfenolkék) homogenizáltam, dörzsmozsárban. 15 percig 14000 Rpm-en centrifugáltam, majd a felülúszó oldatot 5 percig forraltam. A kapott mintákat a kész géleken futtattam (23. ábra). A zsebekbe a mintákból 2 μ l mintát vittem fel. A futtatáskor használt standard, Precision Plus (Bio-Rad) Standard volt. A minták előkészítésének elvi alapjai NAGARAJ és munkatársai (2005) munkájából származnak.



23. ábra A futtatás menete

Szeparáló gél (11 %, 2 kis géltre):

bidesztillált víz 3,7 ml

30% akrilamid/ bis-akrilamid 29: 1
(Bio-Rad) 3,7 ml

1,5 M TRIS-HCl (pH: 8,8) 2,5 ml

10% SDS 100 μ l

APS (100 mg/ml) 50 μ l

TEMED 10 μ l

A gél polimerizálódása után a tetejére gyűjtőgélt öntöttem, amelybe került a mintafelvivő zsebek kialakításához szükséges fésű.

Gyűjtőgél (4%, 2 kis géltre):

bidesztillált víz 3,05 ml	APS (100 mg/ml) 25µl
30% akrilamid/ bis-akrilamid 29: 1 (Bio-Rad) 0,65 ml	TEMED 5 µl
1,5 M TRIS-HCl (pH: 8,8) 1,25 ml	
10% SDS 50 µl	

A gél polimerizálódása után felvittem a zsebekbe a mintákat, majd a gélt elektroforézis cellába illesztettem. Pufferrel történő feltöltés után a cellát áram alá helyeztem.

Elektroforézis puffer:

TRIS 3,03 g
SDS 1,0 g
Glicin 14,4 g
1000 ml-re feltöltve
desztillált vízzel.

Futtatási paraméterek:

feszültség (konstans): 100 V
futtatás ideje: 120 perc

A futtatás után a géleket 0,24%-os Comassie Brilliant Blue R 250 (50% - os metanolban) oldatba helyeztem 1 órára, majd a háttérben maradt festéket 7 % metanolt, 9% esetsavat tartalmazó oldattal távolítottam el.

4.3.9 A fehérjeállapot vizsgálata Differential Scanning Calorimetry módszerével

A differenciális pásztázó kaloriméter olyan készülék (DSC), amely a hőáram regisztrálására alkalmas. A minta és a referenciaanyag térben el van különítve, és egyszerre, teljesen azonos hőmérsékletprogram szerint kerül felfűtésre. A berendezés a fűtéshez illetve hűtéshez szükséges teljesítményt közvetlenül méri. Endoterm hőeffektus esetén a minta hőmérséklete elmarad a referenciaanyagéhoz képest. Ekkor a berendezés a folyamatban elhasznált hőmennyiséggel azonos mennyiségű hőenergiát bocsát a mintába. Ily módon a minta és az inert anyag között nem alakul ki hőmérséklet különbség. Exoterm reakció esetében a referenciaanyag fűtésével biztosítható a hőmérsékletek azonossága. A DSC berendezés által mért értékek adatrögzítését személyi számítógép végzi. A mérőprogram két funkciót végez:

- egyrészt elvégzi a mérés során az adatrögzítést, majd a következő fázisban az adatok értékelését.

- a csúcsok alakja az anyag azonosítására, míg a görbe alatti területek nagysága mennyiségi értékelésre használható fel, amelyből az átalakulási hő számolható.

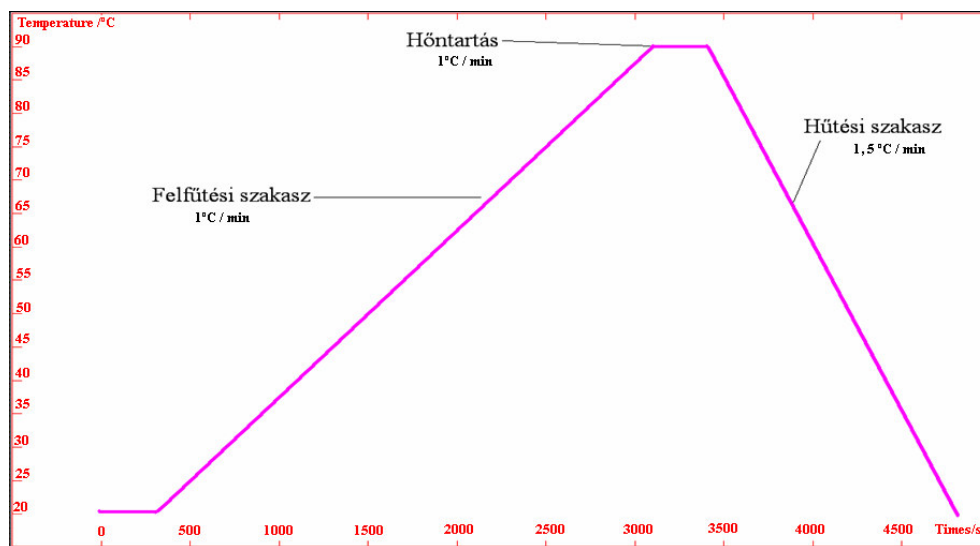
A kezeletlen és ultrahanggal kezelt minták DSC analizését egy „MicroDSC III” típusú mikrokáloriméteren (SETARAM, Franciaország) végeztem (24. ábra).



24. ábra MicroDSC III.

(Forrás: <http://huto.uni-corvinus.hu>)

A vizsgálati mintákból közelítőleg 750 mg mennyiséget mértem be a hermetikusan zárt rozsdamentes acél mintatartóba. A mérések az 5-95°C hőmérséklettartományban 1°C / min fűtési sebességgel futottak (25. ábra). Referenciamintaként azonos mennyiségű desztillált vizet használtam.



25. ábra Futtatási program

(Forrás: Saját felvétel)

4.3.10 Alkalmazott statisztikai programok, módszerek

A kísérleti munkám során kapott eredményeket az MS-Excel program segítségével dolgoztam fel, az eredményeim statisztikai értékelése az SPSS (ver 11.) illetve MS-Excel programban történt 95 %-os valószínűségi szinten. Eredményeimet egytényezős varianciaanalízissel (csoportközéptékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia szinten, LSD) vizsgáltam. A statisztikai táblázatok a méretük miatt a mellékletben szerepelnek.

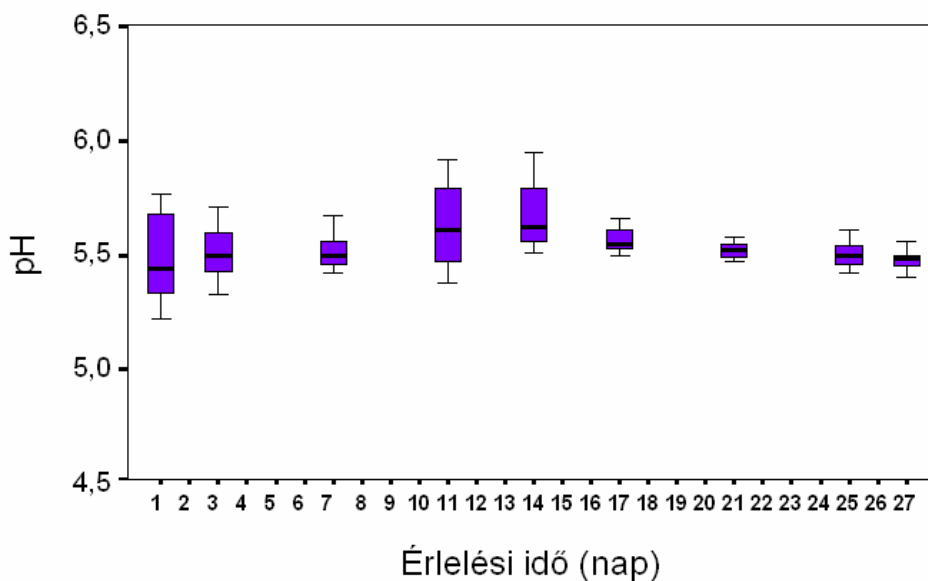
A membránpermeabilitás változás meghatározásánál, a mérési időintervallum alapján felvett értékekre lineárisra visszavezetett regresszió módszerével függvényt illesztettem és ezen függvények paramétereinek változását vizsgáltam.

5 Eredmények és értékelés

5.1 A marha hátszín érése 0 - 1 °C-on

5.1.1 A pH és csepegési léveszteség alakulása 0 - 1 °C-on érlelt hátszín esetében

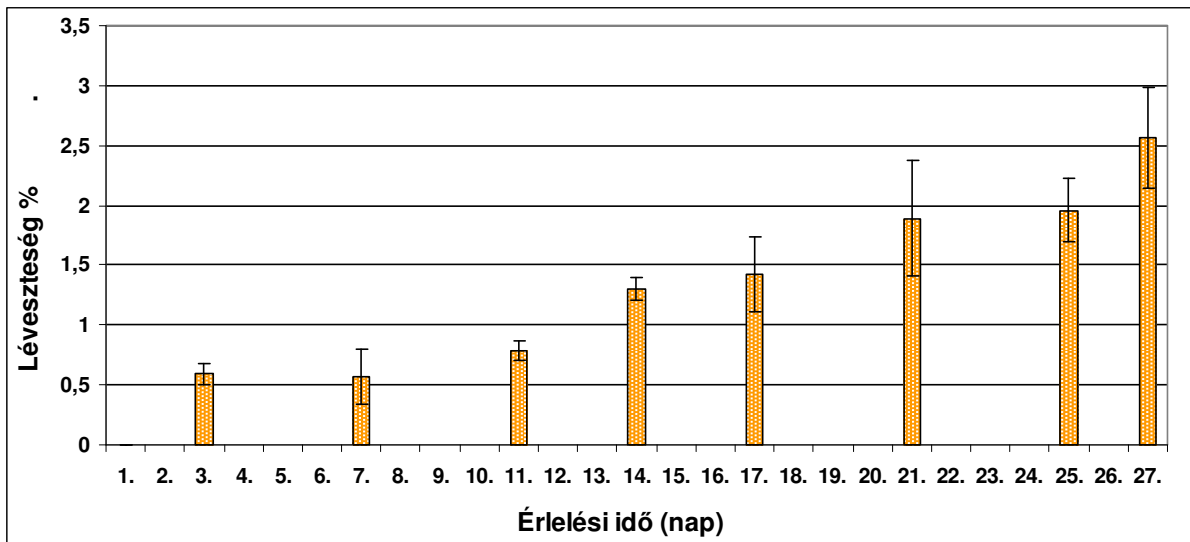
Az érlelés során a pH nyomonkövetésével nem csak a hús érettségi állapotáról, hanem annak esetleges húshibáiról, vagy mikrobiológiai szennyezettségéről is információt kaphatunk. A 26. ábrán látható a minták pH értékeinek alakulása az érlelési idő során. Megállapítható, hogy az érlelés folyamata során a marhahátszín-minták pH értéke nem változott jelentősen a marhahústra jellemző normál tartományban maradt. Az adatok statisztikai elemzése az M3. mellékletben szerepel.



26. ábra A pH értékek alakulása az érlelés során

A tejsavtermelő baktériumok jelenléte és aktivitása kisebb mértékű, amelynek feltételezhető oka, hogy a vörös húsban lévő, a tejsav alapjául szolgáló glikogén mennyisége alacsony. 11. és a 14. napon kismértékű növekedést tapasztaltam, amely a tejsavtermelő baktériumok anyagcsere termékének eredménye. Ezt igazolja a tejsavbaktérium szám is. Az érlelési idő alatt a pH kismértékű emelkedését tapasztalta BOAKYE és MITTAL (1993) is. A legnagyobb pH értéket a 16. érlelési napon tapasztalták.

A csepegési léveszteség az érlelés során az értékesítés szempontjából különösen fontos, az általam alkalmazott vákuumcsomagolásban a léveszteség mértéke igen alacsony volt.

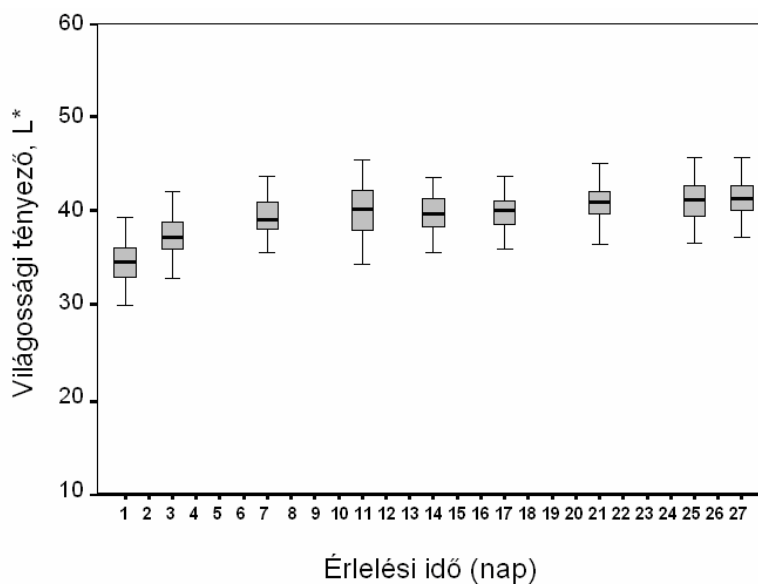


27. ábra A csepegési lévesztés alakulása az érlelés során

A 27. ábrán a csepegési lévesztés alakulása látható az érlelési napok függvényében. A vágástól számított 27. napra a lévesztés értéke csak a 2,5 % volt, amely BOND és WARNER (2007) mérései alapján sem számít jelentős veszteségnek az eltelt érlelési időhöz képest. Természetesen ehhez hozzájárul az alacsony érlelési hőmérséklet hatása is.

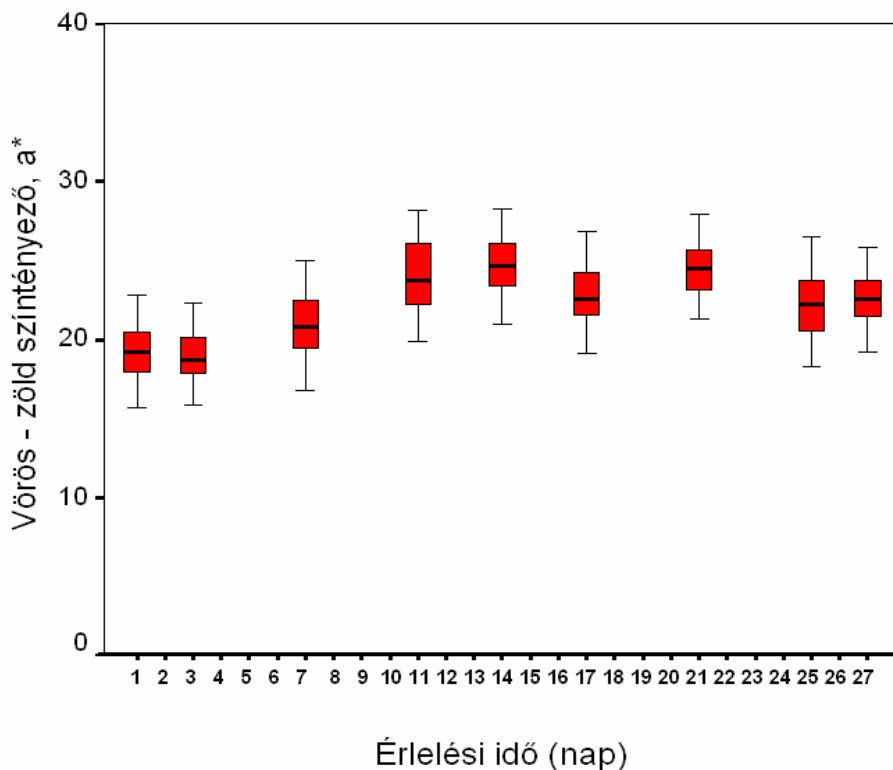
A kismértékű lékiválás eredménye, hogy megmarad a nedvesség a húsokban, amely biztosítja a termék lédúságát. A csepegési lévesztés az érési idő során egyenletesen növekszik, amely igazolja, hogy a minták pH - ja normál tartományba esett.

5.1.2 A marhahús színének alakulása az érlelés során 0 - 1 C-on



28. ábra A világossági tényező (L*) alakulása az érlelés során

Vizsgálataim részét képezték az érés során bekövetkező színezetbeli változások detektálása is. A világossági tényező (L^*) alakulása az érlelés alatt a 28. ábrán látható. Az ábra alapján megállapíthatjuk, hogy az érlelés során a marhahús kismérékben világosodott. Ez megegyezik LEE és munkatársai (2008) által az érlelés során tapasztaltakkal. Az adatok statisztikai elemzése az M4. mellékletben szerepel.

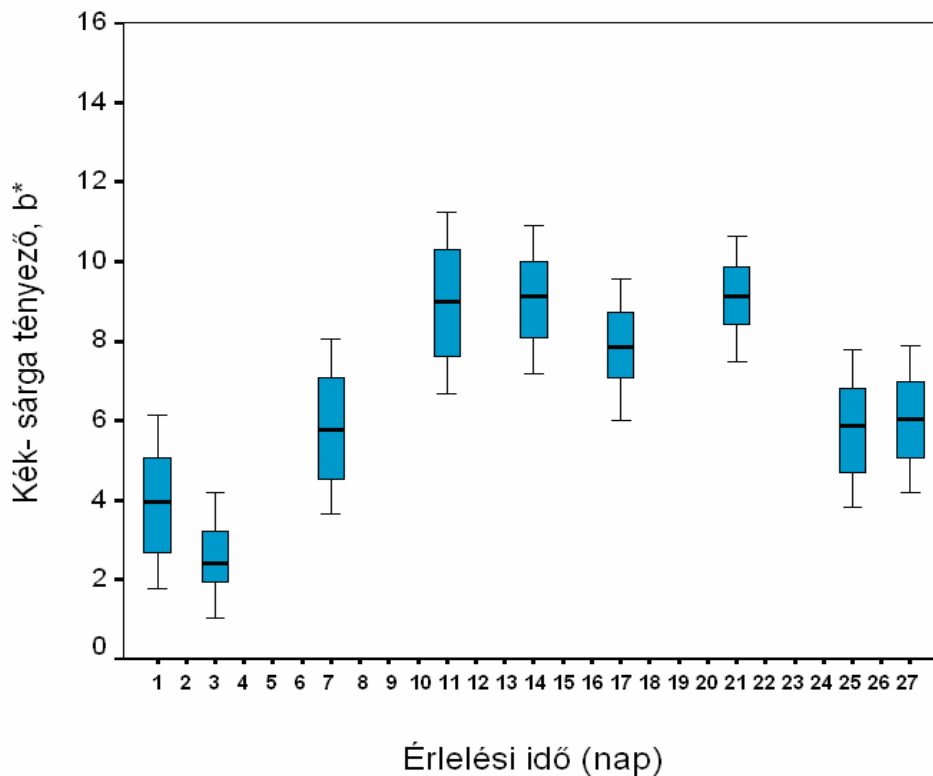


29. ábra A vörös színezet (a^*) alakulása az érlelés során

A vákuumcsomagolás hatására a húsok felületén a vörös színezetet adó miooglobin átalakult. Az átalakulás függ a csontozás-darabolás és a csomagolás között eltelt időtől. A hosszabb műveleti idő kedvez az oxidációnak, vagyis a szürkés-barna színt adó metmiooglobin képződésének. A csontozást szünet nélkül követő csomagolás által az élénk vörös oximioglobinból deoximiooglobin keletkezik, amely bíborlilás színt kölcsönzött a mintáknak. A minták előkészítése során a csomagolás azonnal a csontozás után történt, így a bíbor szín a jellemző a mintákra, amit a világossági tényező és a vörös színezet együttes változása igazol.

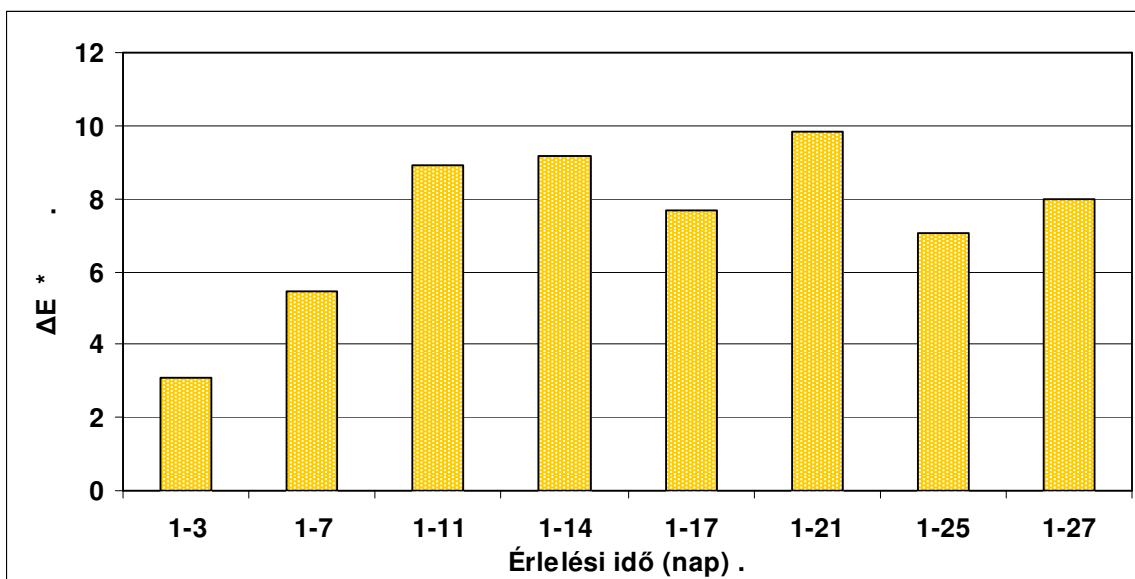
A 29. ábra mutatja a vörös - zöld (a^*) színtényező kezdeti értékét és változását az érlelési napok során. A hús színe az első szakaszban vörösebb lett, majd a 21. napot követően csökkenő tendenciát mutatott, azonban a változás nem szignifikáns. Az adatok statisztikai elemzése az M5. mellékletben szerepel.

A lejátszó folyamat rendkívül fontos az érzékszervi megítélés tekintetében, mivel a vákuumsomagolásból történő kibontás után a hús visszanyerte eredeti vörös színezetét, ismételten élénkvrössé vált. Ez mind szakmai, mind pedig fogyasztói szemmel nézve nagy jelentőségű. A folyamat magyarázata, hogy a színmérés a kicsomagolást követően 20 perccel történt, így a deoximioglobint a légköri levegő oxigéntartalmának adiciónálásával visszaalakult oximioglobinná, ami élénkvrössé színt kölcsönöz a húsnak. INSAUSTI és munkatársai (1999) a csomagolás hatását vizsgálták az érlelési idő alatt, tapasztalataik szerint az a^* értéke az 5. napig emelkedik, majd stagnál vákuumsomagolásban.



30. ábra A b^* alakulása az érlelési napok során

A 30. ábrán a b^* vagyis a kék-sárga színtényező alakulását figyelhetjük meg az érlelési napok függvényében. A b^* az érlelés alatt közel a duplájára emelkedett, amely a metmioglobint képződés általi barnás szín kialakulásából adódik. A különbség szignifikáns. Az adatok statisztikai elemzése az M6. mellékletben szerepel.



31. ábra A ΔE^* alakulása az érlelési napok során

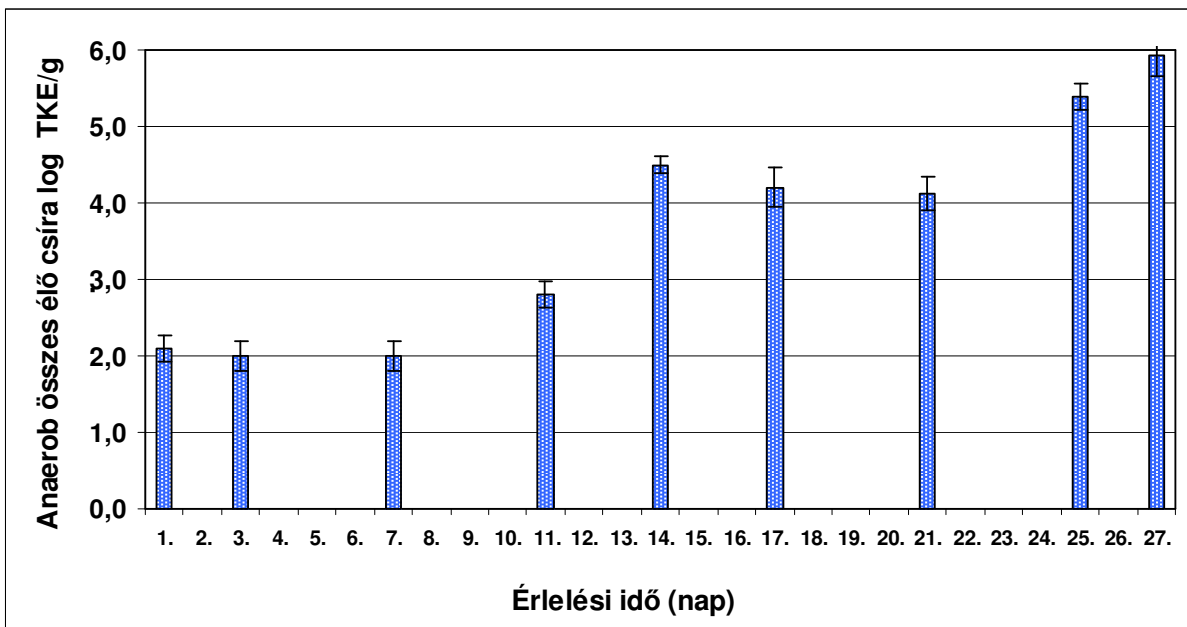
ΔE^*	érezelt különbség
3,0 ... 6,0	jól látható
6,0 ... 12	nagy

A 31. ábrán a színekülönbséget ábrázoltam (ΔE^*), amely az első illetve az adott mérési napon mért marhahússzín között jelentkezett. Tapasztalataim szerint a hátszín színezete az érlelési idő előrehaladtával a vörös árnyalatból enyén a barna szín felé tolódott.

A táblázat értékei alapján megállapíthatjuk, hogy az érezelt különbség a „jól látható” és a „nagy” tehát nagyon jól látható különbség kategóriákba esik. A marhahús színében történt változás igen szembevető volt az érlelés során. Mivel a világossági tényező értékeiben nem volt jelentős eltérés a kezdeti értékektől, így a „jól látható”, illetve a „nagy különbség” elsősorban a sárga színezetbeli változásnak valamint kisebb mértékben a vörös színezet értékeinek emelkedésének köszönhető.

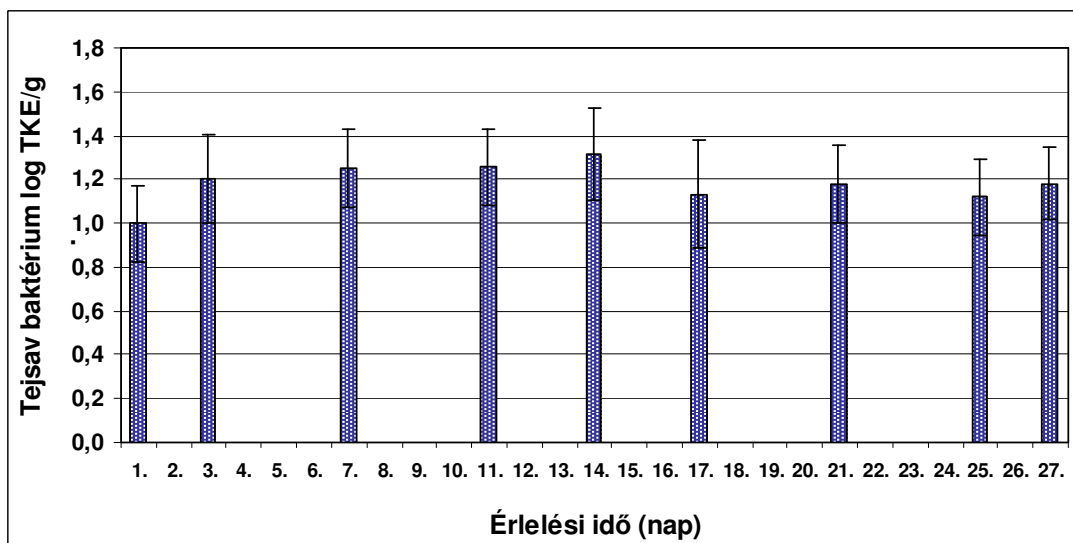
5.1.3 Mikrobiológiai állapot alakulása 0 - 1 °C - on érlelt hátszín esetében

A mikrobiológiai állapot detektálása elengedhetetlen részét képezi az érlelés során bekövetkező változások vizsgálatának. A tökehúsok nagy vízaktivitásuk révén remek táptalajt nyújtanak a különböző baktériumoknak. Ezek ellen az alacsony hőmérséklet valamint a különböző csomagolások alkalmazásával léphetünk fel.



32. ábra Az anaerob összes csíraszám alakulása az érlelés során

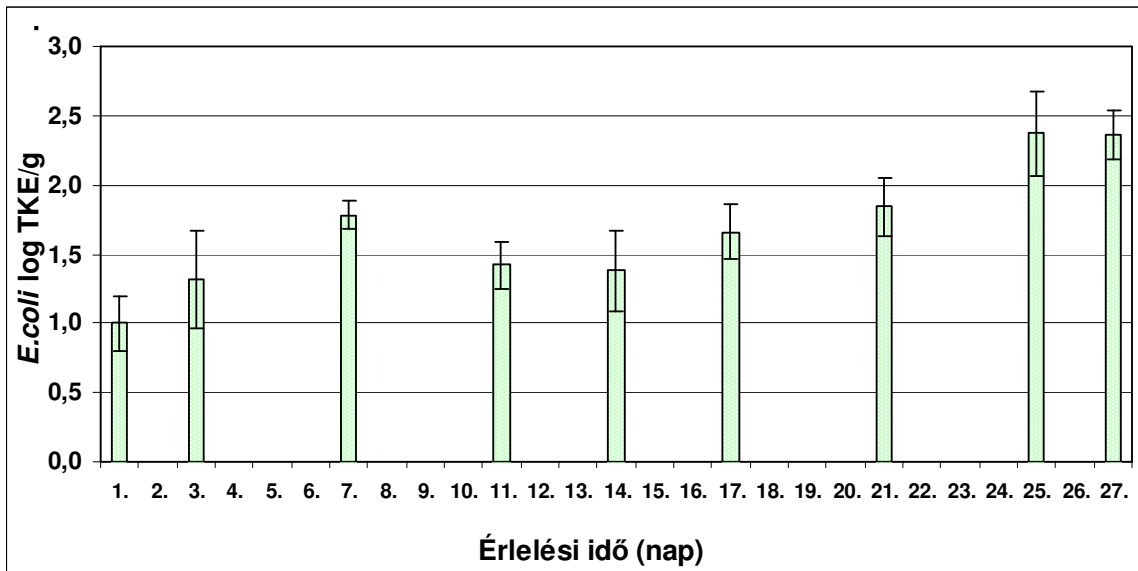
Az anaerob összes élőcsíra szám az érlelés során folyamatosan nőtt, a vágástól számított 27. napon megközelítette, de nem érte el a $\log 10^6$ -on TKE/g számot. Tehát a termék még egy hónap után is biztonságosnak tekinthető az általam alkalmazott 0 - 1 °C - os érlelési körülmények között. Természetesen az alacsony érlelési hőmérséklet csökkenti a mikrobák szaporodásának sebességét, és így az anaerob összes élőcsíraszámot (32. ábra).



33. ábra A tejsavbaktérium szám alakulása az érlelés során

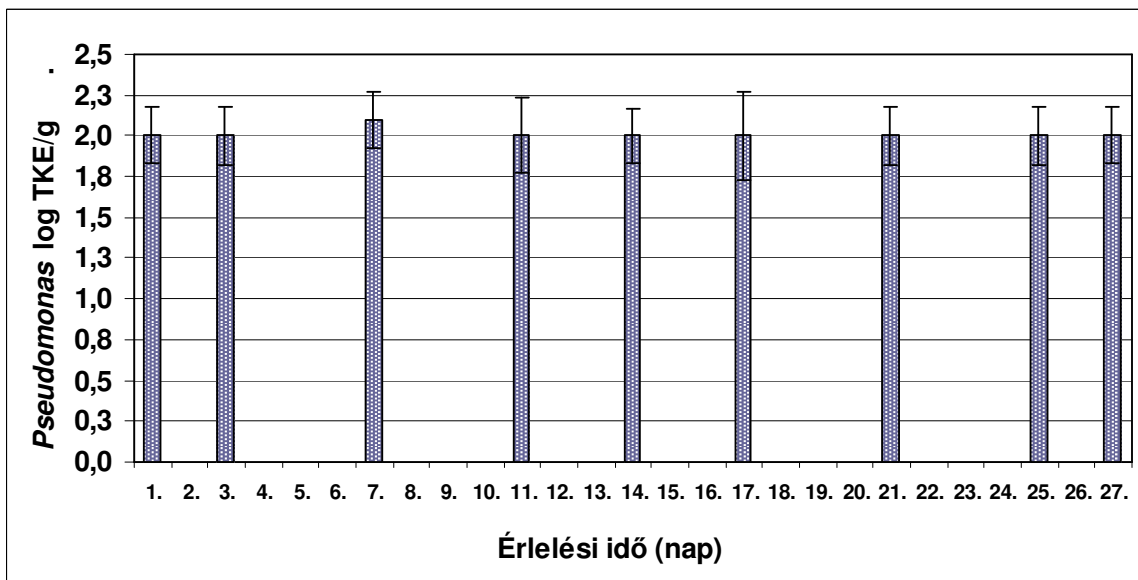
A tejsavbaktérium telepszám az érlelés alatt nem haladta meg a megfelelőségi határértéket bár a 11. és 14. vizsgálati napokon kissé magasabb volt (33. ábra). Ezt támasztják alá a pH vizsgálati

eredmények is. AHNSTRÖM és munkatársai (2006) +3 °C - on érlelt marhahús esetében mértek 14. nap után 6,6 log TKE/g illetve 21. nap után 4,6 log TKE/g értéket.



34. ábra Az *E. coli* szám alakulása az érlelés során

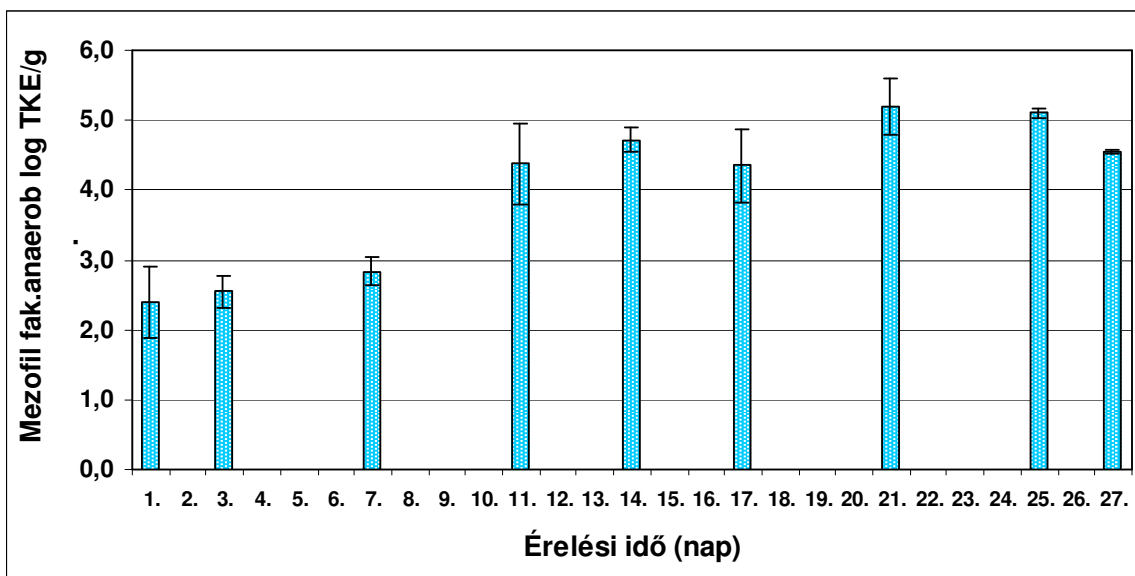
Az *E. coli* baktériumok jelenléte illetve mennyisége a vágóhidak higiéniájáról ad jellemzést. Vizsgálataim során az *E. coli* baktérium szám a mikrobiológiai romlás határértéket a 25. vizsgálati napon haladta meg (34. ábra), amely a kivételesen jó vágóhídi higiéniái állapotra utal.



35. ábra A *Pseudomonas* számának alakulása az érlelés során

A *Pseudomonasok* száma az érlelés alatt végig közel azonos, határértéken aluli volt (35. ábra). Ennek az alacsony értéknek köszönhető, hogy a hús felületi nyálkásodása és a kellemetlen szag nem

alakult ki az érlelés során, a vákuumcsomagolásban. Természetesen a vákuumcsomagolás általi anaerob környezet hátráltatja a *Pseudomonasok* szaporodását, valamint a kis hőmérséklet is.

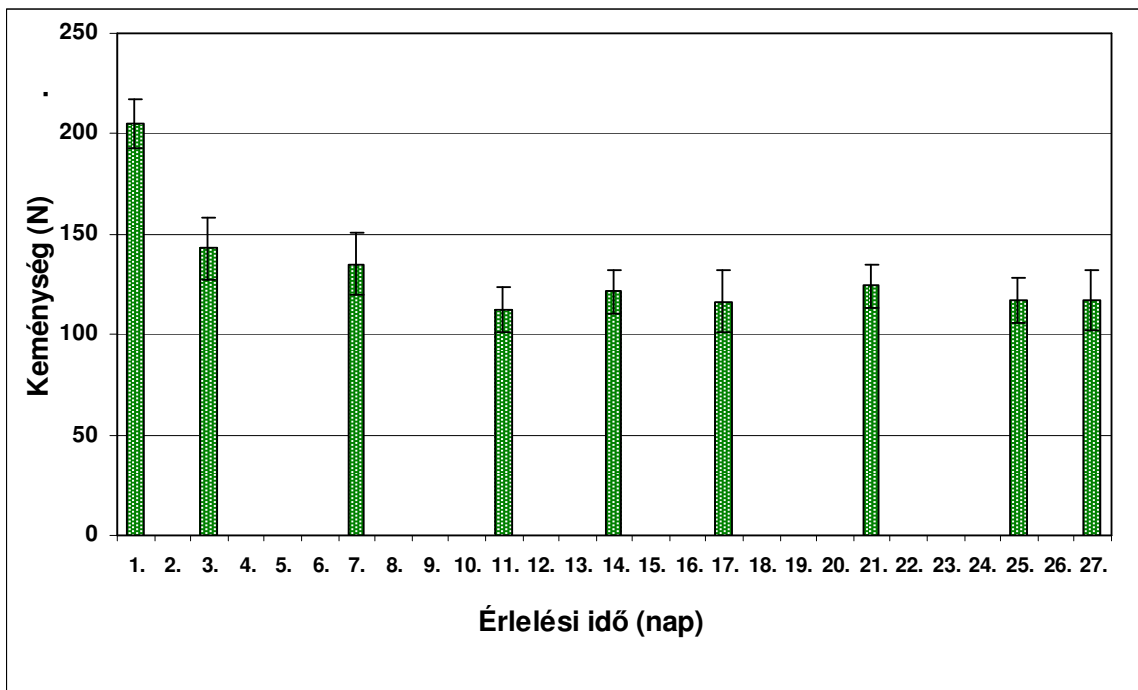


36. ábra A mezofil fakultatív anaerob csíraszám alakulása az érlelés során

A mezofil fakultatív anaerob baktériumok száma az érlelési idő előrehaladtával nőtt, viszont a megfelelőségi határértéken belül maradt, nem érte el a 10^6 -on számot a 27. nap után sem (36. ábra).

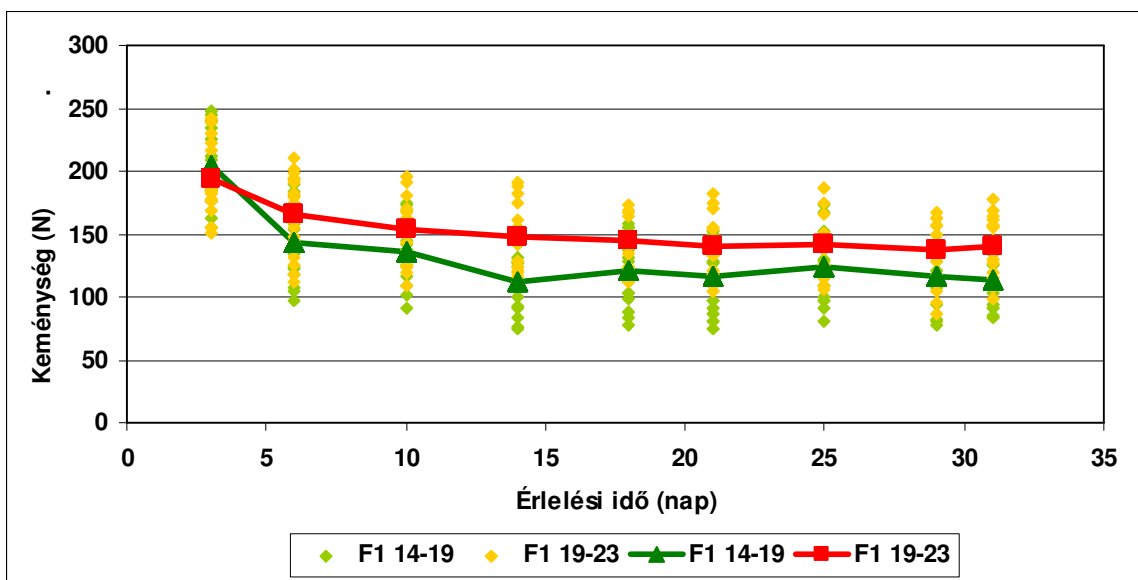
5.1.4 Állományvizsgálat 0 - 1 °C - on érlelt hátszín esetében

A 37. ábrán láthatóak a TPA állományprofil analízis alapján mért keménység értékek az érlelés során. Megállapíthatjuk, hogy az állomány változásai ezzel a módszerrel jól követhetőek, a keménység az első összenyomás során keletkezett maximális erő, amely az érlelési idő során csökkent. Az adatok statisztikai elemzése az M7. mellékletben szerepel.



37. ábra A keménység alakulása az érlelési napok során

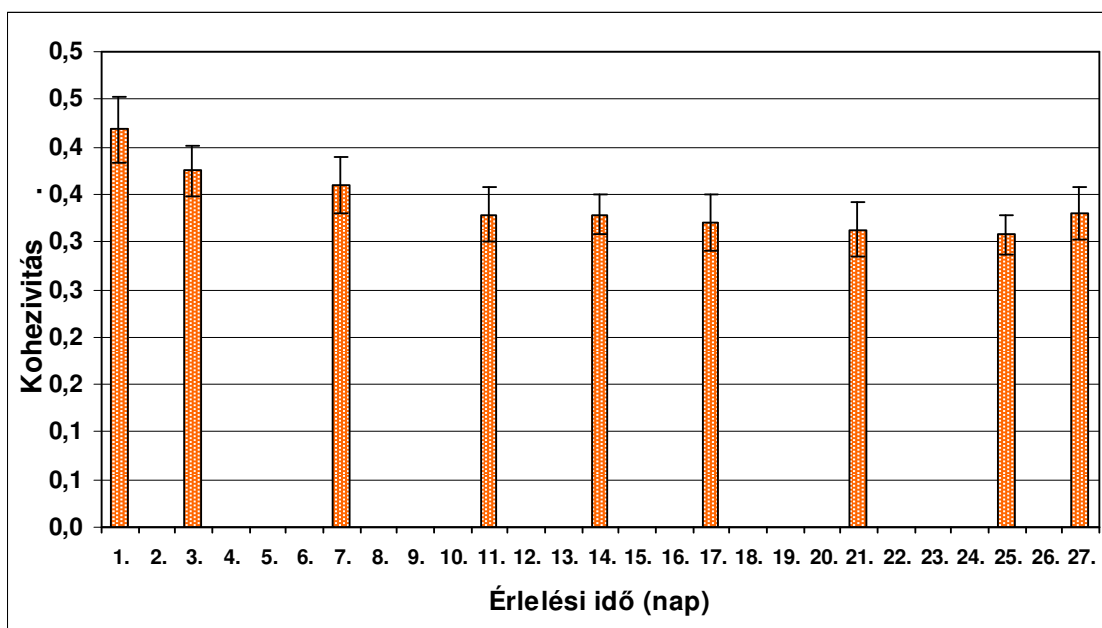
Megfigyelhető, hogy a 11. napra a marhahús minták elérték a közel állandó keménységüket, ezt követően az érleléssel ez az érték nem változott. Tehát a keménység végleges kialakulásához az objektív állománymérés alapján az általam vizsgált körülmények között 0 - 1°C - os érlelési hőmérséklet alkalmazása mellett 11 nap érlelés szükséges.



38. ábra A keménység alakulása az érlelési napok és a marha korának függvényében.

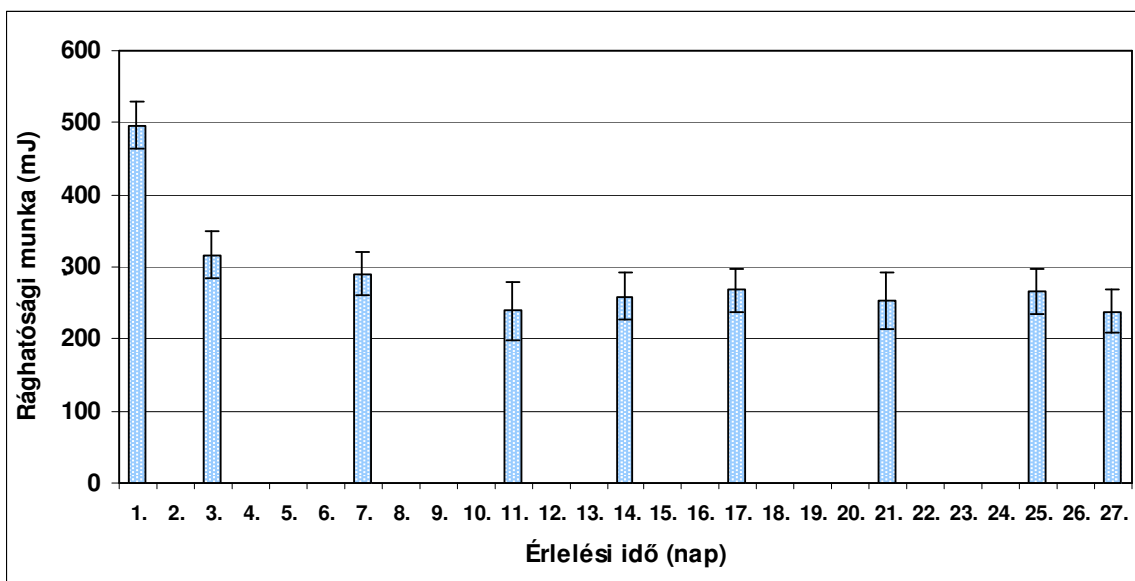
Az általam vizsgált marhák kora eltérő volt, az eredmények értékelése során azt tapasztaltam, hogy az állatok kora meghatározó lehet azok érlelése és puhasága szempontjából. A mérések során két csoportot képeztem a vizsgált állatok kora alapján, 14 - 19 hónap illetve 19 - 23 hónap közötti korcsoportra bontottam a vizsgálat alapjául szolgáló hátszínmintákat.

A keménységmérések alapján megállapítható, hogy a marha vágási kora nagyban meghatározza az érési folyamatot. A fiatalabb, 14 - 19 hónapos állatokból nyert hátszín minták alacsonyabb keménység értékeket adtak, míg az idősebb állatok keményebbnek bizonyultak végig az érési folyamat során (38. ábra). GULLET és munkatársai (1996) kutatásai alapján is eltérő a különböző korú állatok húsának érési ideje. Az általuk vizsgált állatok kora 12, 17 illetve 24 hónap volt. Azt találták, hogy az idősebb állatok húsának porhanyósodásához hosszabb idő szükséges.



39. ábra A kohezivitás alakulása az érlelési napok során

A vizsgált anyag összetartó erejéről a kohezivitás ad képet. Az érlelés során a húsban a belső kötések ereje csökken a 11. napig erőteljesebben, majd stagnál (39. ábra). A kohezivitás eredmények alapján is megállapítható, hogy az első 11 nap alatt megy végbe erőteljes változás a hús belső szerkezetében.



40. ábra A rághatóság alakulása az érlelési napok során

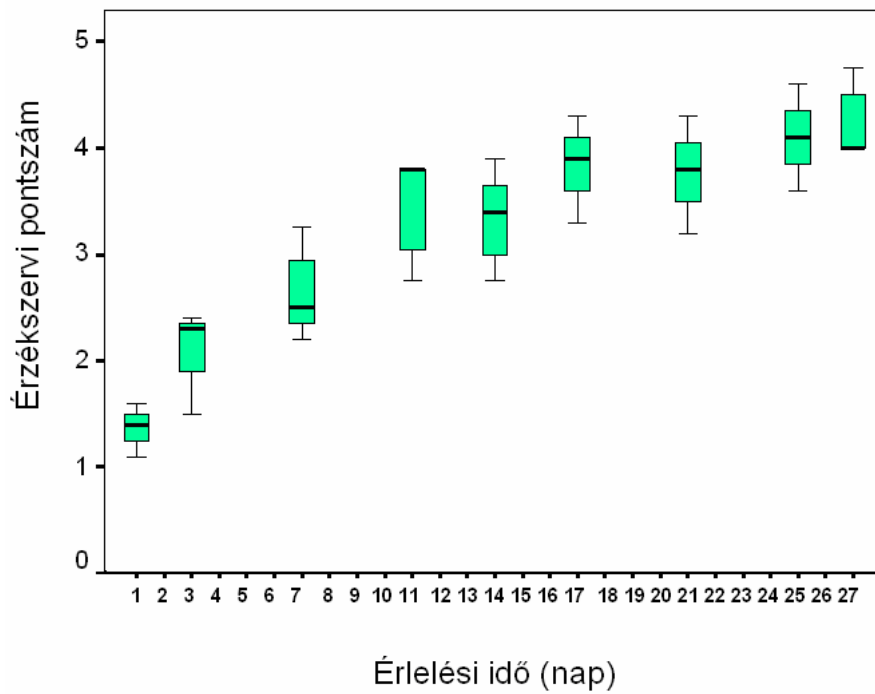
A rághatóság a minták szét illetve megrágásához szükséges energia befektetését jelenti. A 40. ábra szemlélteti az érlelési napok során adódott rághatósági értékeket. Ezek alapján megállapítható, hogy a rághatósághoz szükséges munka csökken az érlelési folyamat előre haladtával.

Mint az előzőeknél itt is megállapítható, hogy a rághatósági munka a 11. nap körül a legkisebb. LIU és munkatársai (2003) vizsgálatai alapján a marhahús az érés során a 14. illetve a 21. nap között éri el a legpuhább állományt. Vizsgálataikat +4 °C-on érlelt marhahúson végezték.

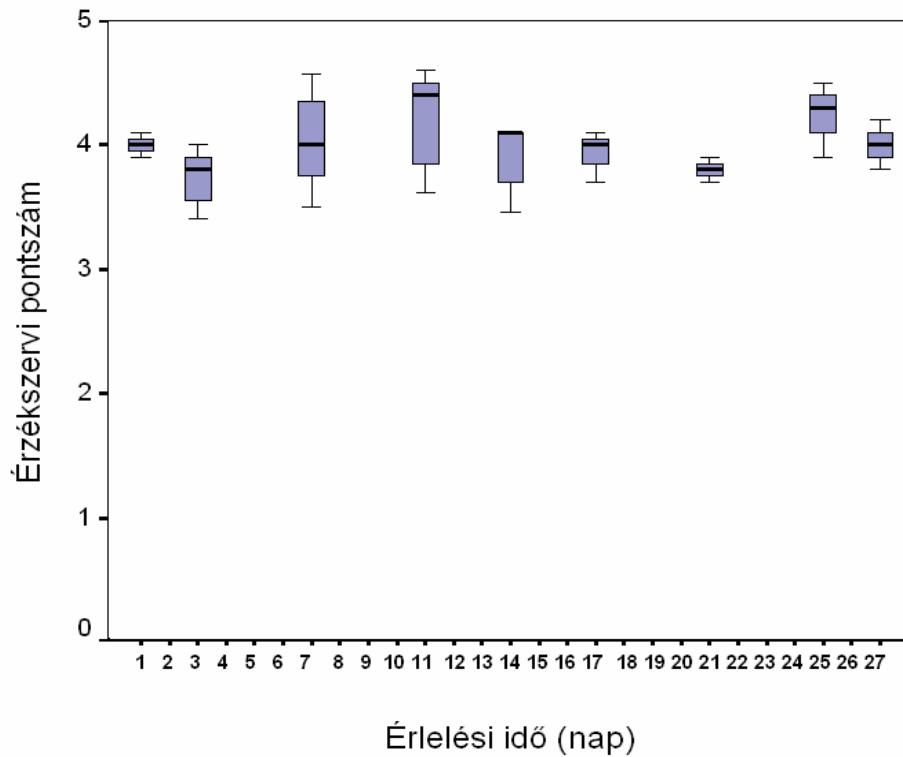
5.1.5 Érzékszervi bírálat 0 - 1 °C - on érlelt hátszín esetében

A vizsgálataimat természetesen minden esetben érzékszervi bírálat is kiegészítette, hiszen a műszeres állománymérés nem fedi fel az esetleges kisebb különbségeket a rágósságban, vagy a megjelenő kellemetlen ízeket, amelyek az érlelés során előfordulhatnak. Ezek alapján az érzékszervi vizsgálatok során tanulmányoztam az omlósság, lédúság, íz illetve a puhaság változását. Az érzékszervi bírálati lap a dolgozat M2 mellékletét képezi.

A 41. ábrán látható az omlósság alakulása az érlelési napok függvényében. Ezek alapján megállapítható, hogy az érzékszervi bírálat alkalmas volt a hús érési fázisainak nyomonkövetésére. A 17 - 21. vizsgálati naptól már kellemesen omlós állományt mutattak a hátszín minták a bírálatok során, de már jelentős omlósság tapasztalható a 14. naptól kezdve. Ezt a megállapítást alátámasztják az állományvizsgálat eredményei is, azonban fontos megjegyezni, hogy az érzékszervi bírálat is fontos része az állomány megítélésének.



41. ábra Az omlósság alakulása az érlelés során

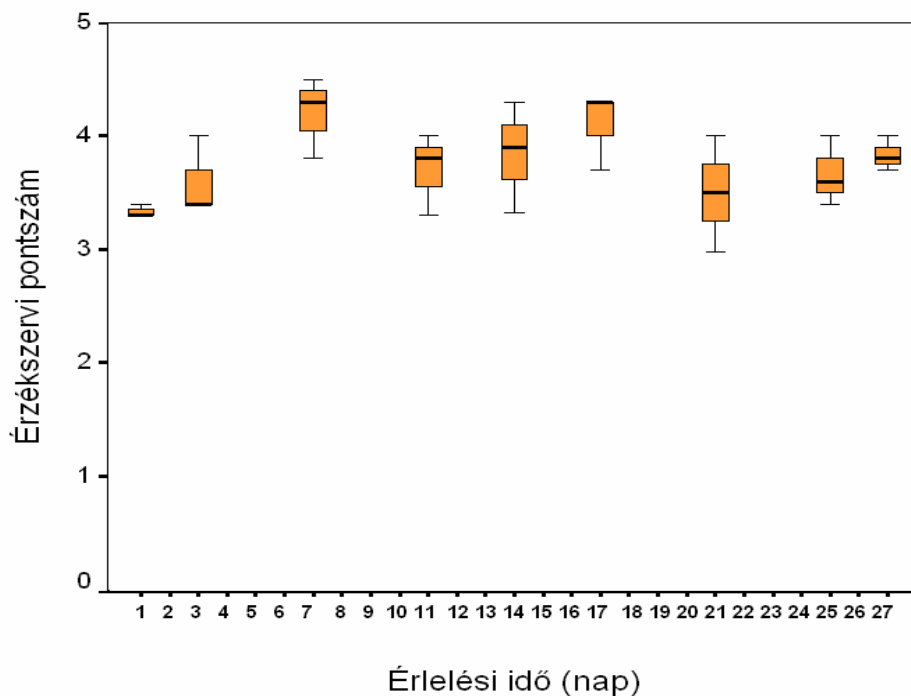


42. ábra A lédűsság alakulása az érlelési napok során

A 42. ábra a lédűsságot mutatja az érlelési idő függvényében. A lédűsságot nagymértékben befolyásolja a léveszteség mértéke, valamint az elkészítés körülményei. A léveszteség az érlelés

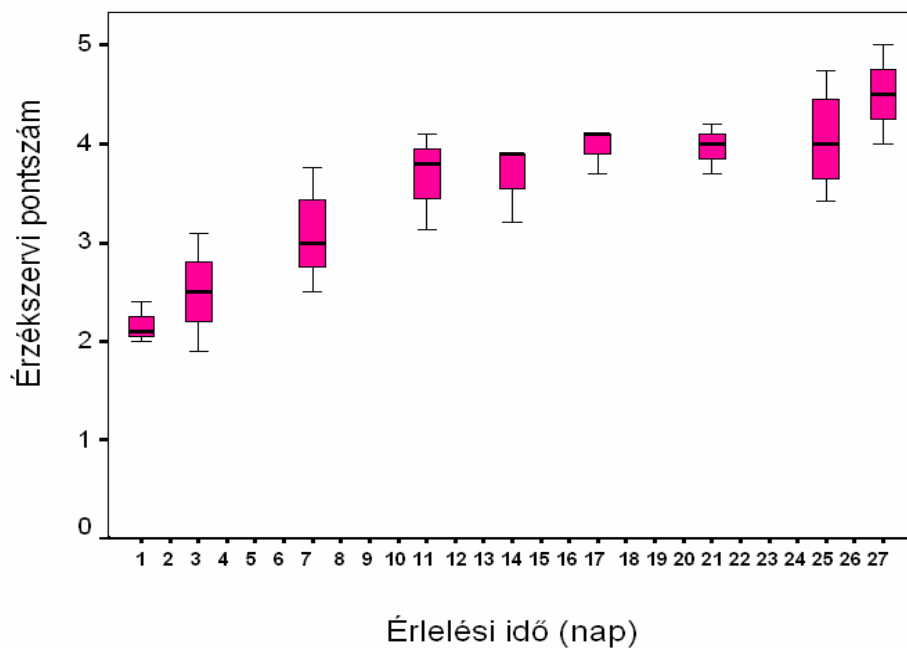
végére 2-3 % volt, amely figyelembe véve a bírálók által adott pontszámokat nem hatott a minták lédúságára.

A szeletek vastagságára a technológia kialakításánál fokozott figyelemmel kell lenni, tapasztalataim szerint igen nehéz a különböző tömegű, és ezzel együtt eltérő méretű és szerkezetű húsokat egyenletesen szeletelni. A lédúság a steakek egyik kiemelten fontos érzékszervi jellemzője, a magyar gyakorlatban, az otthoni elkészítés során sokszor kiszárítják a húst a túlsütéssel, míg ha sütéskor megfelelő kéreg kerül kialakításra a nedvesség ezen belül marad és magas élvezeti értékű, kiváló steaket nyújt.



43. ábra A marhahús íz karakter alakulása az érlelési napok során

A 43. ábrán a marhahús íz intenzitás alakulását láthatjuk. Az íz tekintetében a minták között nem adódott nagy különbség a bírálók néhány minta esetében májra emlékeztető ízt tapasztaltak, amely az érlelési idő előre haladtával fokozódott. Ennek az íznek a megjelenését tapasztalták MONSÓN és munkatársai (2005) is a máj íz intenzitása vizsgálataik alapján a 21. érlelési naptól kezdve megnő.

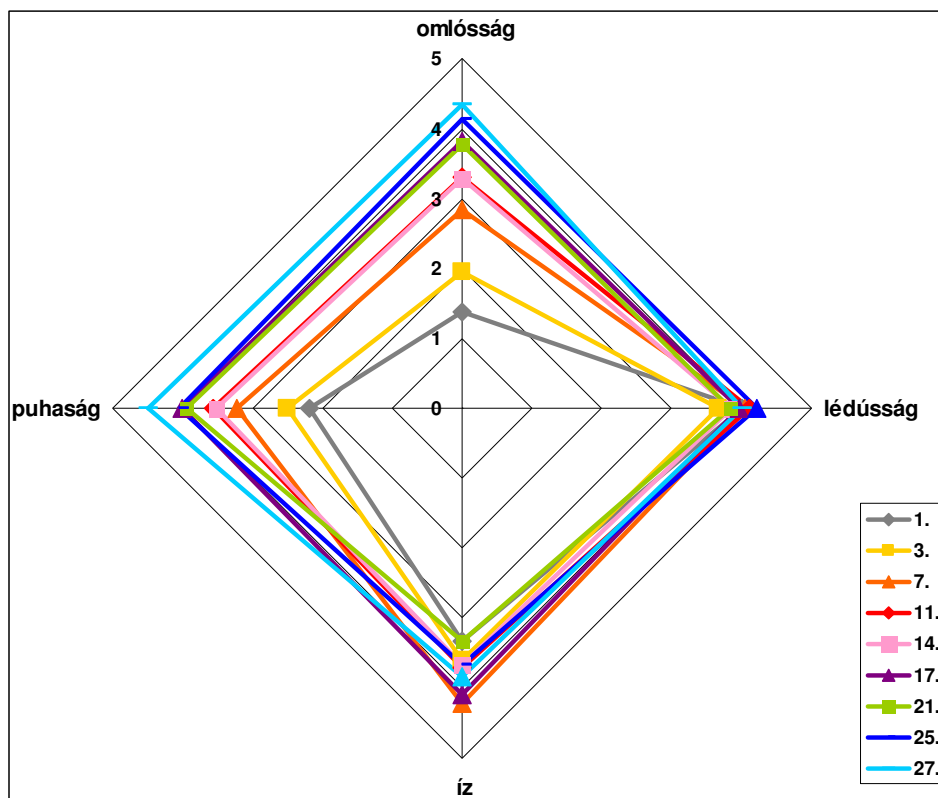


44. ábra A puhaság alakulása az érlelési napok során

A minták puhaságát illetően folyamatos növekedés tapasztalható az érlelési idő során (44. ábra). Az eredmények alapján megállapítható, hogy a darabolástól számított 2 hét alatt jelentős változás lép fel, a hús éretté válik, majd további kismértékű puhulás tapasztalható, amely a termék organoleptikus tulajdonságait jelentősen javítja.

Az érzékszervi bírálat során adott pontszámok alapján a nagyobb mértékű puhulás a 3. illetve a 7. érlelési nap között történt. Azonban az érés során további puhulás tapasztalható, a 14. - 17. naptól kezdve azonban ez a folyamat már csak nem jelentős mértékű. Hasonló következtetések vonhatók le az állománymérés értékelése során is.

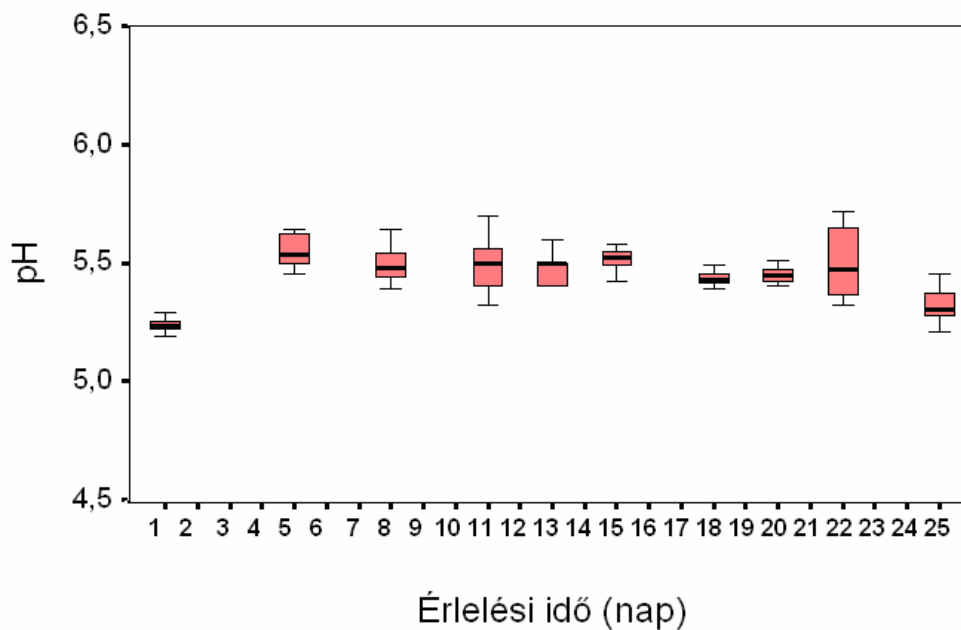
A 45. ábrán látható az érzékszervi bírálatok profilanálízisének alakulása, mely alapján megállapítható, hogy az érés nyomonkövethető, valamint az érési idő előrehaladtával a hús omlósabb, illetve puhább lesz. Tehát az alkalmazott érzékszervi bírálat jól reprezentálja a marhahús érésének folyamatát. A minták mikrobiológiai állapota az utolsó vizsgálatok alkalmával is elfogadhatónak bizonyult.



45. ábra Az érzékszervi bírálatok profilanalízise az érlelési napok során

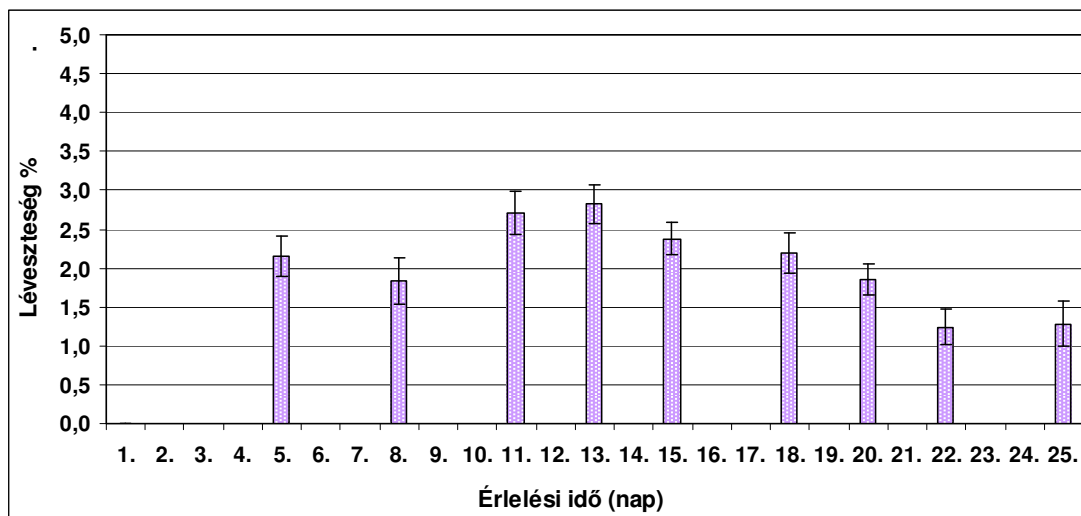
5.2 A marhahús érésének vizsgálata + 5°C - os érlelés során

5.2.1 pH és léveszteség változása + 5°C - os érlelés során



46. ábra A pH alakulása az érlelési napok során

A 46. ábrán látható a minták pH értékeinek alakulása az érlelés során. Megállapítható, hogy az érlelési idő alatt a marhahátszín pH-ja kis mértékben ingadozott. Az adatok statisztikai elemzése az M3. mellékletben szerepel. A pH csökkenése többnyire az anaerob glikolízisből keletkező tejsav képződésének következménye (GASZTONYI, LÁSZTITY, 1993). A nagyobb hőmérsékleten való érlelés nem befolyásolta a vizsgált minták pH értékét jelentősen.



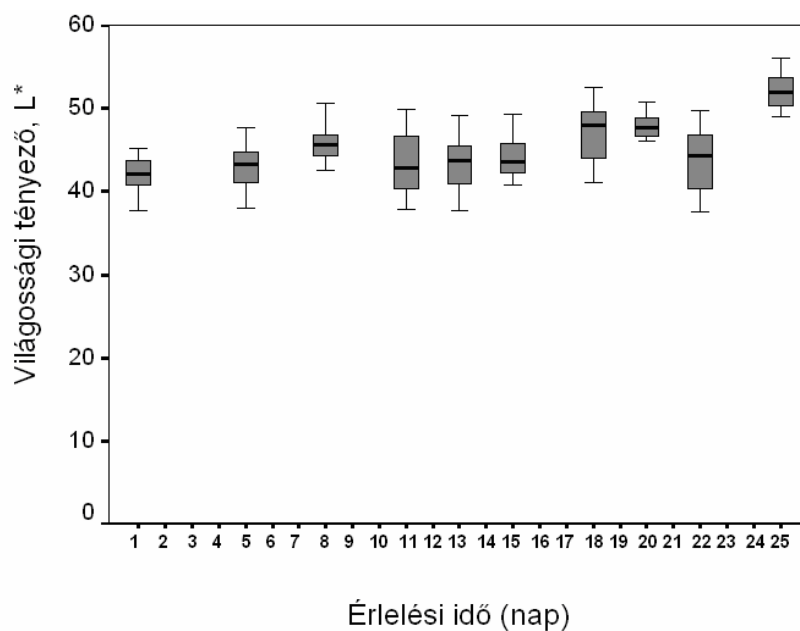
47. ábra A lévesztesség alakulása az érlelés során

A 47. ábrán a lévesztesség alakulását láthatjuk az érlelési idő függvényében. Egyes állatfajok esetében (becslések szerint a sertéshússok több mint 50 % - nál) jelentkezik indokolatlanul magas léeresztés (STETZER et al. 2008) amely a felhasználhatóságot is befolyásolja. Tapasztalataim szerint, vákuumsomagolásban +5°C - on érlelt marhahátszín minták esetében a lékiválás nem haladja meg a 3%-ot ami szintén elenyészőnek mondható.

A 0 - 1°C - on érlelt marhahátszín esetében is hasonlóan alakult a lékiválás mértéke. BOND és WARNER (2007) mérései alapján ez nem számít jelentős veszteségnek, ha a hosszú érlelési időt is figyelembe vesszük. A kismértékű lékiválás kedvező következménye, hogy megmarad a nedvesség a hússokban, amely biztosítja a termék lédúságát.

5.2.2 Színváltozás a+ 5°C - os érlelés során

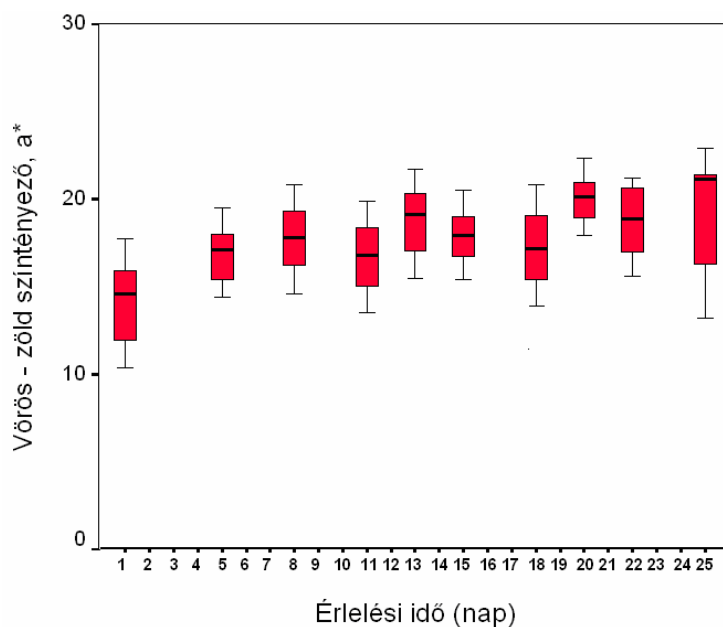
A hússzín jellemzője a miogloblin és származékai koncentrációjával meghatározható színárnyalat és színtelítettség mellett a világossági tényező (L*). A világossági tényező a hús fényvisszaverő képességével függ össze, ami a hús kolloidkémiai szerkezetének változásával változik.



48. ábra A világossági tényező (L^*) alakulása az érlelés során

A világossági tényező (L^*) alakulása az érlelés alatt a 48. ábrán látható. Az ábra alapján megállapíthatjuk, hogy az érlelés során a marhahátszín kis mértékben világosodott az érlelési periódus alatt. Az adatok statisztikai elemzése az M4. mellékletben szerepel.

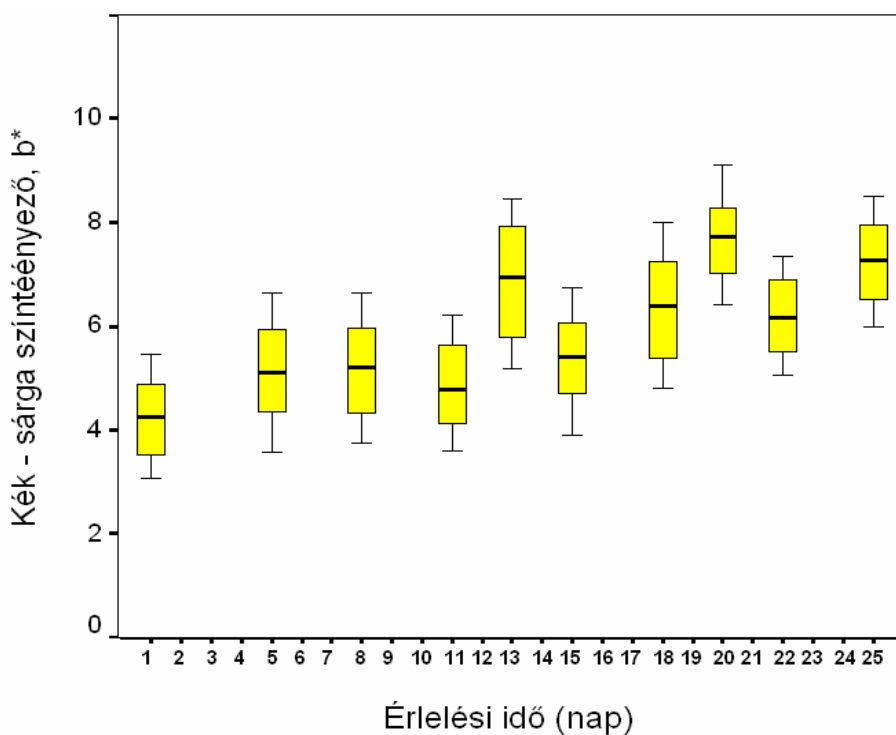
A hús színének megítélésénél általános tapasztalat, hogy a vágás utáni meleg hús és a csak igen csekély savanyodást mutató DFD hús elnyeli a fény nagy részét, míg a normál mértékű savanyodást mutató, sok denaturált szarkoplazma-fehérjét és szélsőséges esetben denaturált miofibrilláris fehérjéket is tartalmazó hús több fényt ver vissza.



49. ábra A vörös színezet (a^*) alakulása az érlelés során

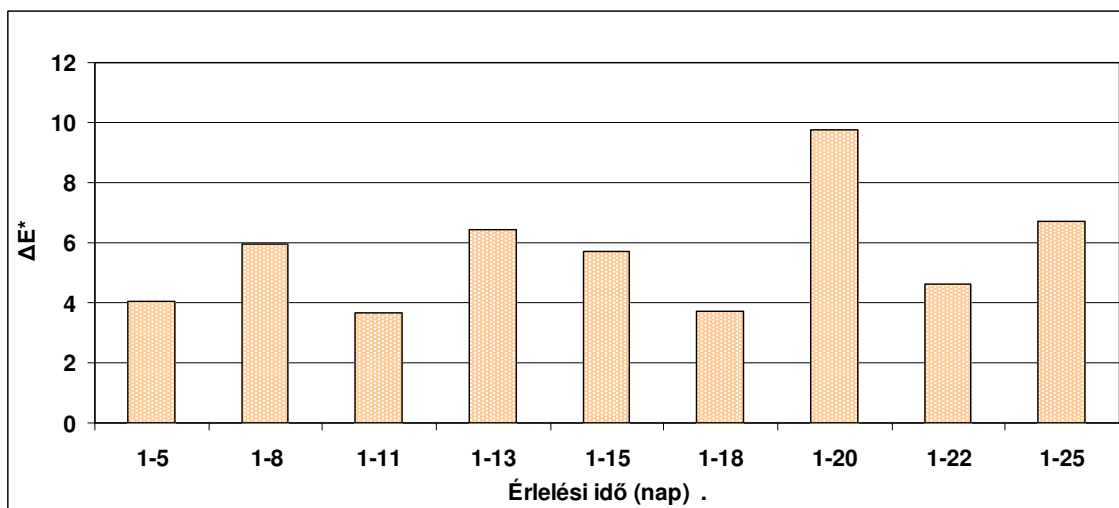
A 49. ábra mutatja a vörös - zöld színtényező (a^*) kezdeti értékét és változását az érlelési napok során. Az adatok statisztikai elemzése az M5. mellékletben szerepel. A kezdeti, a^* érték jellemző a friss marhahúsról, ami az érlelés kezdeti szakaszában emelkedett hasonlóan a világossági tényezőhöz.

A mioglobinnal bíborvörös színű pigment, amely rendkívül alacsony parciális oxigénnyomás mellett fordul elő. Kémiai állapot alapján lehet dezoximioglobinnal (bíborvörös), oximioglobinnal (cseresznyepiros) illetve metmioglobinnal (szürkés barnás), attól függően, hogy milyen mértékben oxidálódik. A hosszantartó tárolás hatására az izom redukálóképessége megszűnik, amely hatására egyre inkább a barnás színű metmioglobinnal adja a hús színét (KROPF 1993).



50. ábra A b^* alakulása az érlelés során

Az 50. ábrán a kék-sárga tényező alakulását figyelhetjük meg az érlelési idő függvényében. A b^* az érlelés alatt közel a duplájára emelkedett a $+5^{\circ}\text{C}$ - on érlelt minták esetében, amely a metmioglobinnal képződés által barnás szín kialakulásából adódik. Az érlelési hőmérséklet emelésével a minták barnás színezete megnő. Az adatok statisztikai elemzése az M6. mellékletben szerepel.



51. ábra A ΔE^* alakulása az érlelési napok során

Az 51 ábrán a színkülönbséget ábrázoltam, amely az első illetve az adott mérési napon mért marhahússzín között jelentkezett.

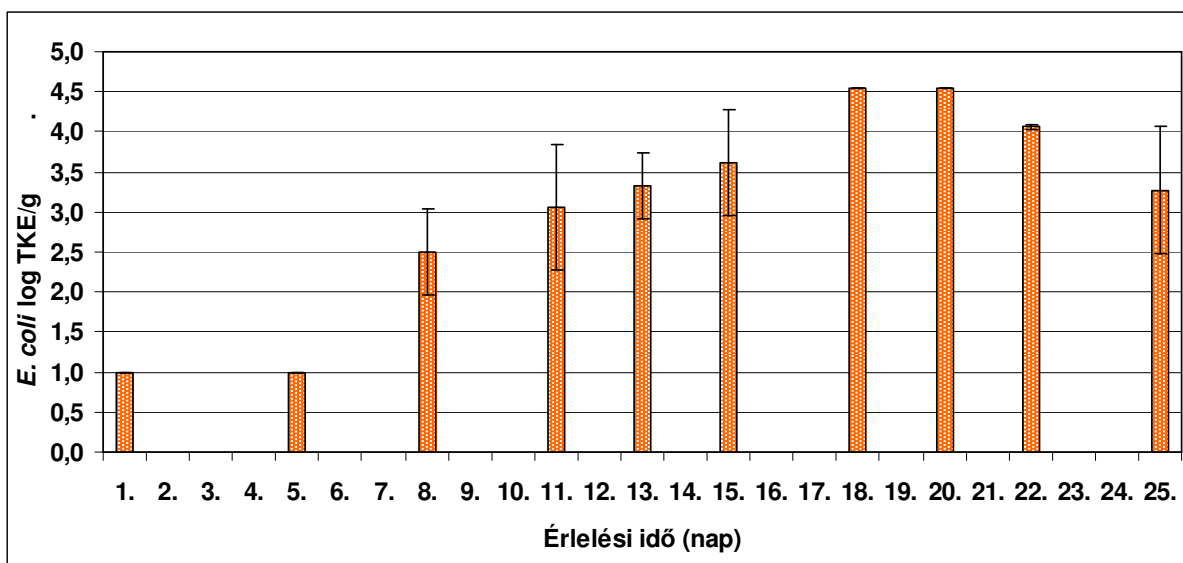
ΔE^*	érezelt különbség
3,0 ... 6,0	jól látható
6,0 ... 12	nagy

A táblázat értékei alapján megállapítható, hogy az érezelt különbség a „jól látható” és a „nagy” kategóriákba esik. A marhahús színének változása tehát igen szembetűnő volt az érlelés során. Általánosságban elmondható hogy az érlelési idő előre haladtával a + 5°C-on érlelt mintáknál a színeltérés még nagyobbak adódott az eredetihez képest.

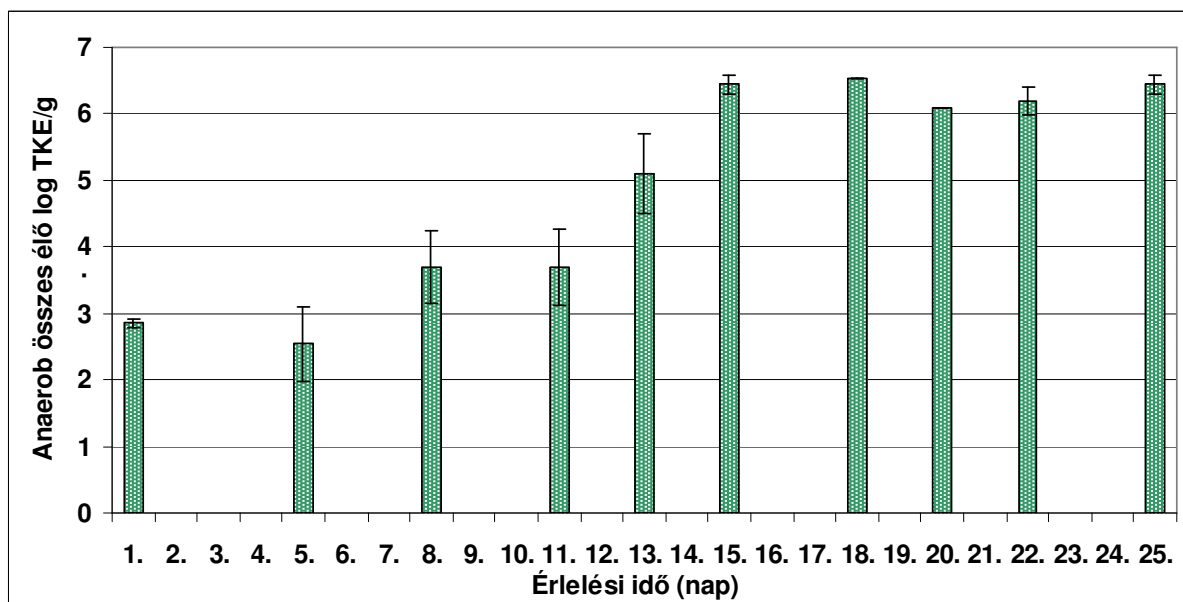
5.2.3 Mikrobiológiai vizsgálatok + 5°C - os hűtőtérben való érlelés során

Az érlelés során az egyik legfontosabb az érlelt húsrész mikrobiológiai állapotának nyomon követése, mivel az érlelés során az érlelési hőmérséklet függvényében olyan mikrobiológiai romlás léphet fel, amely élelmiszerbiztonsági kockázata igen nagy. A megfelelő hőmérséklet betartásával az eredeti csíraszám csökkentésével, illetve az oxigén kizárásával a nyers húsok csíraszámát csökkenthetjük. Anaerob romlás esetén a húsban elsősorban a tejsavbaktériumok válnak dominánssá (DEÁK et al.1980).

Munkám során vizsgáltam az *E. coli* szám változását az érlelés alatt. Tapasztalataim szerint a +5°C-on való érlelés során a marhahátszín *E. coli* száma a 8. vizsgálati napon átlépte a mikrobiológiai megfelelőség határértékét, a minták élelmiszerbiztonsági szempontból fogyasztásra alkalmatlanokká váltak (52. ábra).



52. ábra Az *E. coli* log TKE/g alakulása az érlelés során

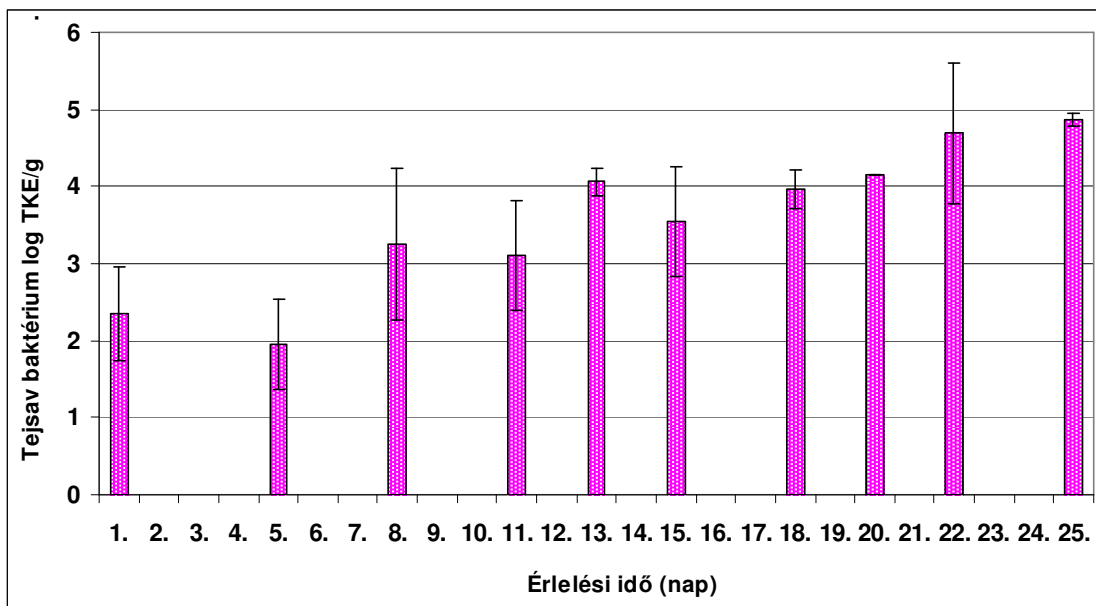


53. ábra Az anaerob összes élő csíraszám log TKE/g alakulása az érlelés során

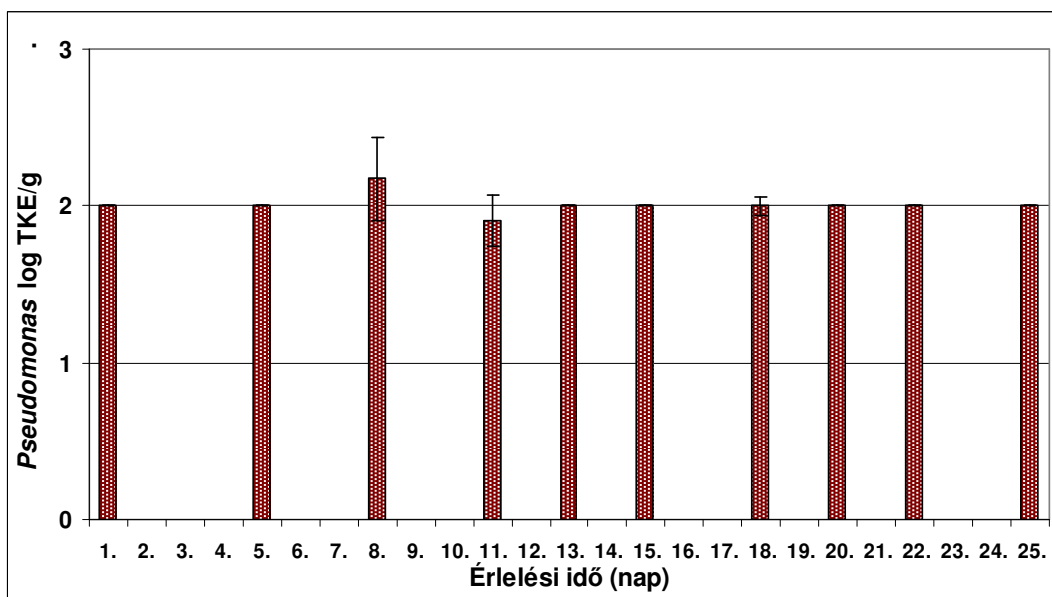
Az összes anaerob élő csíraszám az érlelés során az idővel arányosanl nőtt, a vákuumcsomagolás ellenére is. A 15. napon elérte a 10^6 -on csíraszámot, tehát mikrobiológiai szempontból nem megfelelő (53. ábra). Hasonló eredményt mutatnak KYRIAKI és munkatársai (2010) vizsgálatai a + 5°C-on történtő marahahús érlelés során már a 6. érlelési napon meghaladta a megfelelőségi határértéket a minták összes anaerob élő csíraszám.

A tejsavbaktérium szám az érlelés során ugyan növekedést mutatott de mértéke nem haladta meg a megfelelőségi határértéket. A hőmérséklet növekedés hatását mutatja, hogy a + 5°C-on érlelt minták magasabb tejsavbaktérium számot produkáltak (54. ábra) mint a 0 - 1°C-on érlelt minták. A

folyamat háttérben a szabad glikogén felhasználása utáni fehérjebontás áll. KYRIAKI és munkatársai (2010) által mért tejsavbaktérium szám igen hasonlóan alakult.

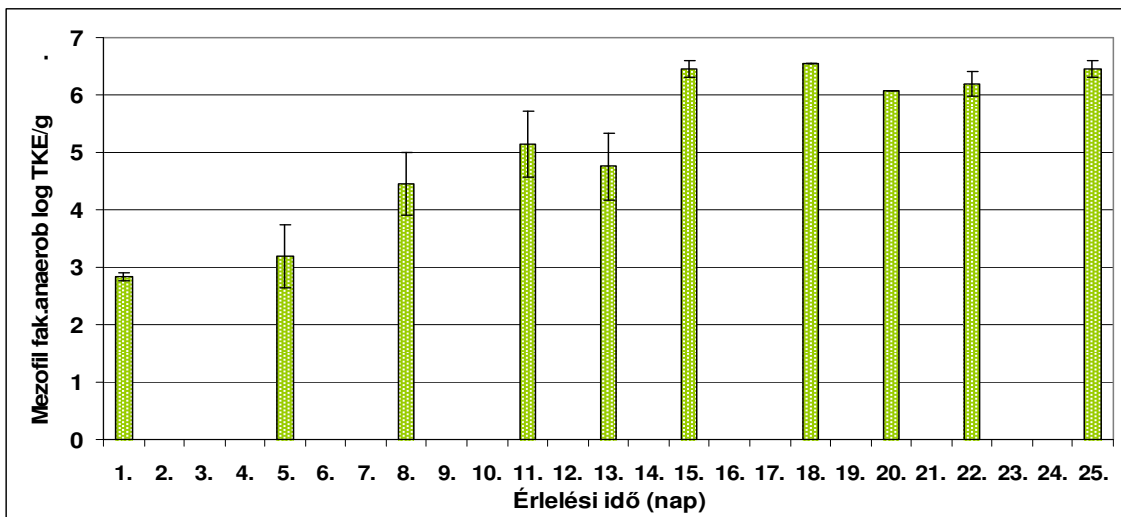


54. ábra A tejsavbaktérium log TKE/g alakulása az érlelés során



55. ábra A *Pseudomonas* log TKE/g alakulása az érlelés során

A *Pseudomonas* szám (55. ábra) az érlelés során nem változott. CASTELLANO és munkatársai (2010) 60 napos +2°C-on való érlelés során hasonló eredményeket kapott, az első 20 nap alatt. A további érlelési idő alatt természetesen nőtt a *Pseudomonas* szám.

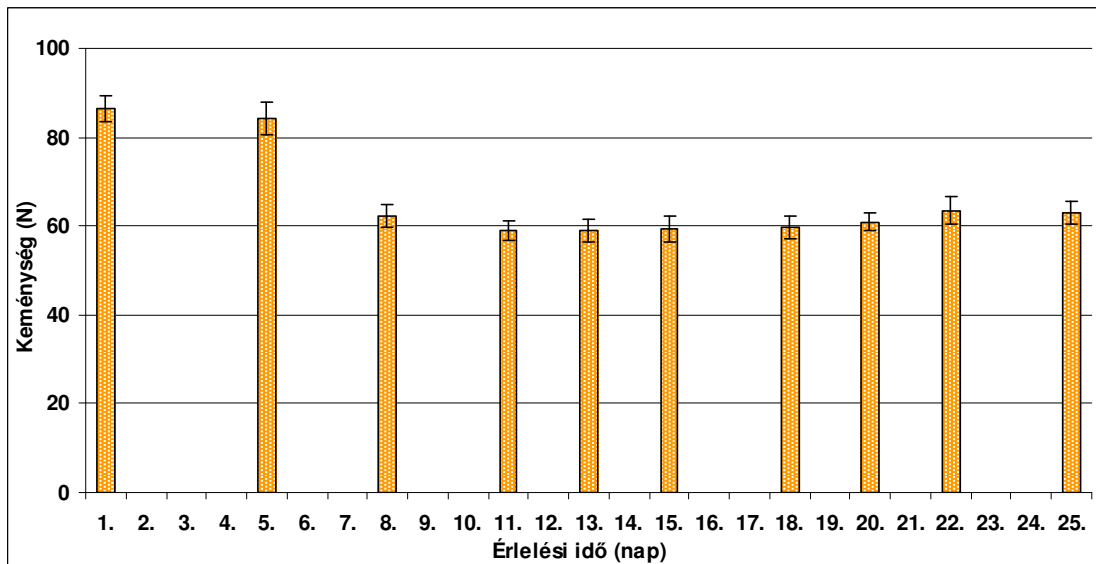


56. ábra A mezofil fakultatív anaerob csíra log TKE/g alakulása az érlelés során

A mezofil fakultatív anaerob baktériumok száma az érlelési idő előrehaladtával nőtt, a mikrobiológiai megfelelőség határértékét a 15. napon meghaladta (56. ábra).

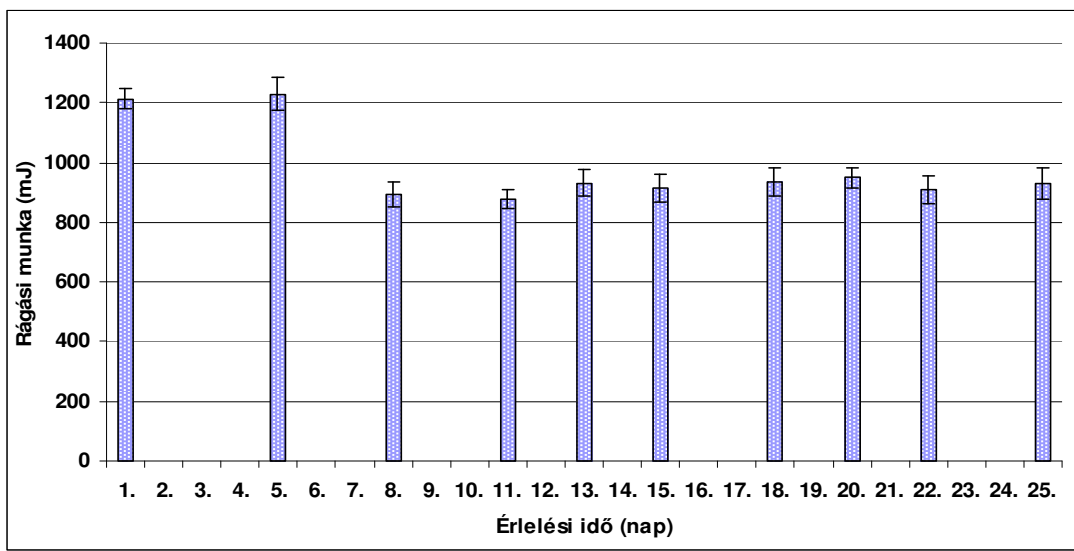
5.2.4 Állományvizsgálat +5°C-on érlelt hátszín esetében

Az 57. ábrán látható minták keménysége az érlelés során. Az adatok statisztikai elemzése az M7. mellékletben szerepel. A keménységmérések alapján, a + 5°C-on érlelt minták már a 8. napon elérték a legalacsonyabb értéket, tehát a nagyobb hőmérséklet az érési folyamatokat felgyorsította.



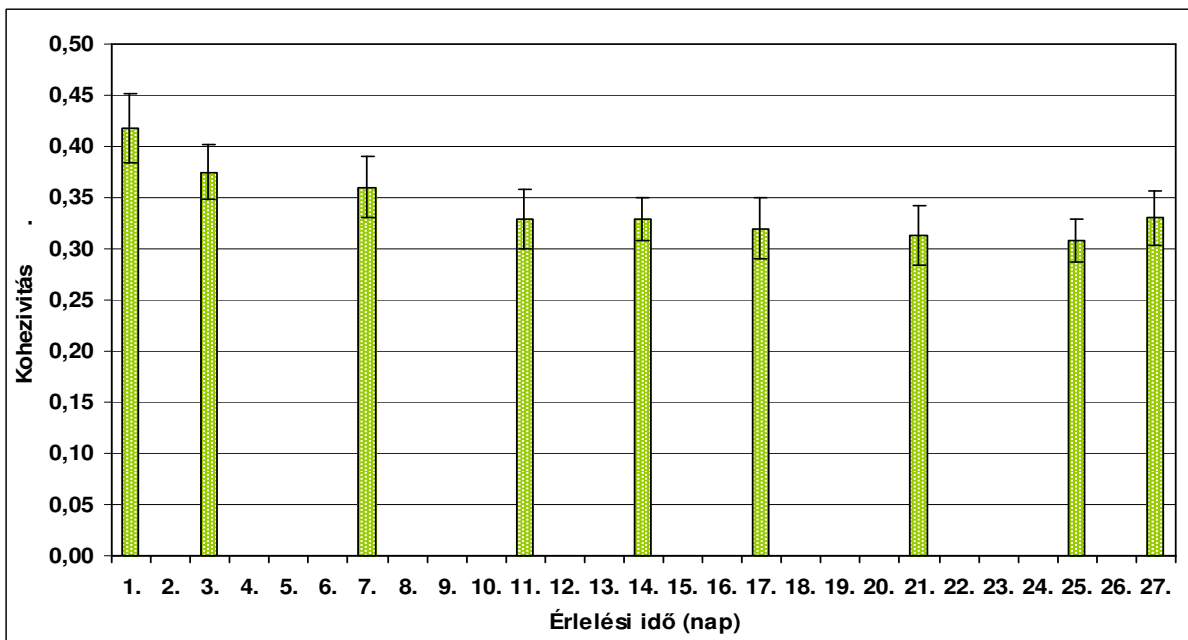
57. ábra A keménység alakulása az érlelési napok során

A rághatóság a minták szétrágásához szükséges energiát jelenti. Az 58. ábra szemlélteti az érlelési napok során adódott rághatósági értékeket. Ezek alapján megállapítható, hogy a +5°C-on érlelt marhahátszín minták szétrágásához szükséges rágási munka a 8. napon eléri a legalacsonyabb értéket.



58. ábra A rághatóság alakulása az érlelési napok során

A kohezivitás a minták összetartó erejéről ad képet. A +5°C - on érlelt marhahátszín kohezivitás értékei láthatóak az 59. ábrán. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az érlelés során a hátszínminták kohezivitása csökken, azaz a miofibrillumokat összetartó erő csökkenése figyelhető meg az érlelési idő növekedésével.

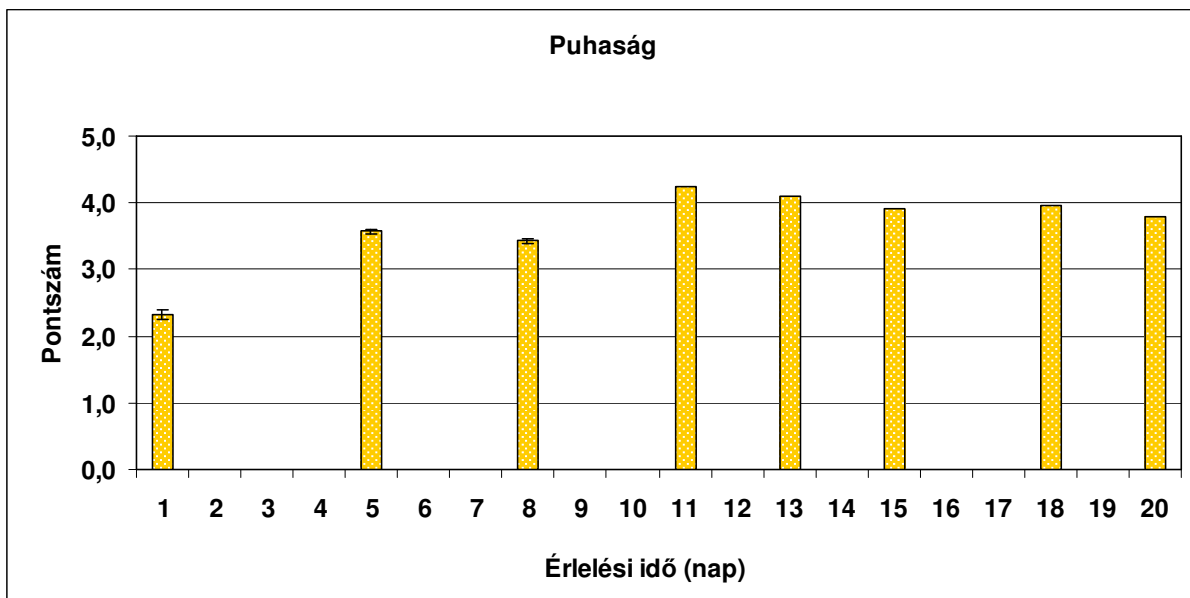


59. ábra A kohezivitás alakulása az érlelési napok során

5.2.5 Érzékszervi bírálat a +5°C-os érlelés során

Vizsgálataim részét képezte az érzékszervi bírálat is, hiszen csak az objektív mérési módszer alapján nem ítéltük megfelelően porhanyósnak az állományt.

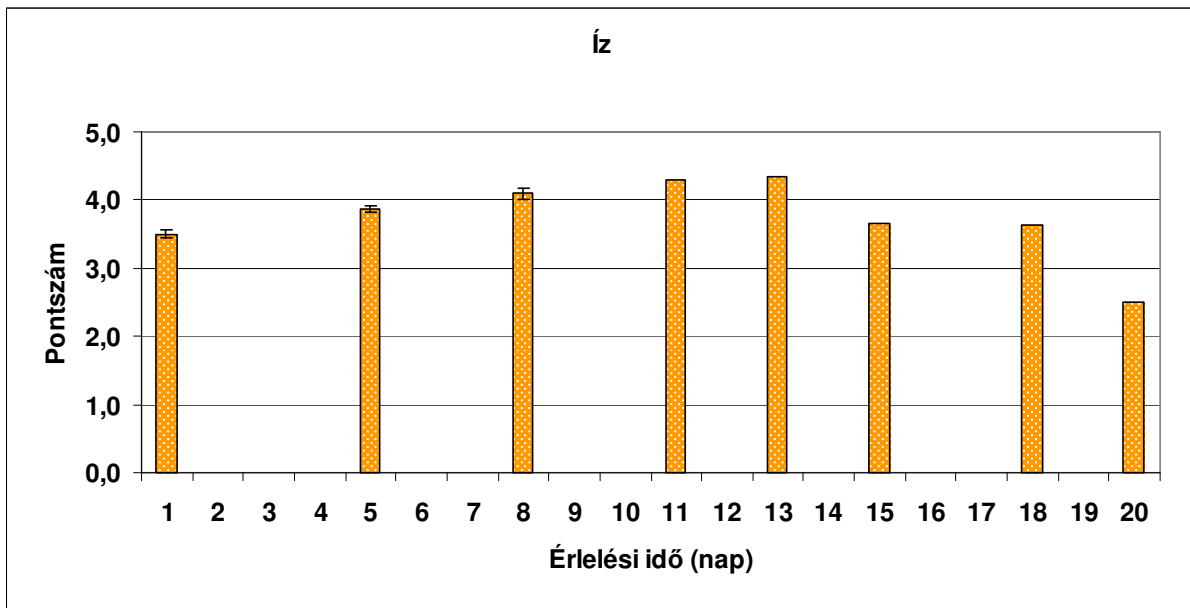
A minták puhaságát illetően folyamatos emelkedés tapasztalható az érlelési napok növekedésével (60. ábra). A minták a 11. napon értékék a legpuhább állományt. A minták mikrobiológiai rossz állapota miatt a 20 nap után nem végeztem érzékszervi bírálatot.



60. ábra A puhaság alakulása az érlelési napok során

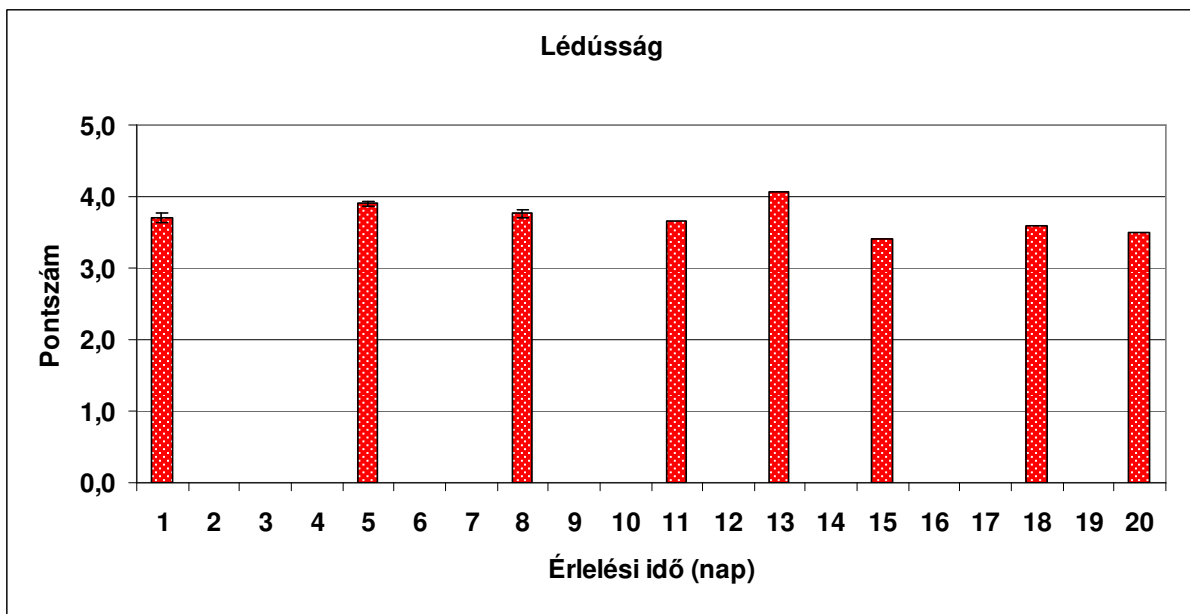
A 61. ábrán a marhahús íz érzékettségének alakulását láthatjuk. Az íz tekintetében a minták között nem adódott nagy különbség az alacsonyabb érzékszervi pontszámok esetében. A kisebb marhahús íz érzékettségre adott érzékszervi pontszámot kapott minták esetében a bírálók gyakran jelezték a máj íz megjelenését, mint idegen, a marhahúsra nem jellező ízt.

A 13. naptól kezdve viszont erős tejsavas, íz volt érzhető, amely nagyban rontotta a minták élvezeti értékét. A tejsavas íz megjelenése egyben utalt a tejsavbaktériumok erősödő tevékenységére, melyet a mikrobiológiai vizsgálat is igazolt.

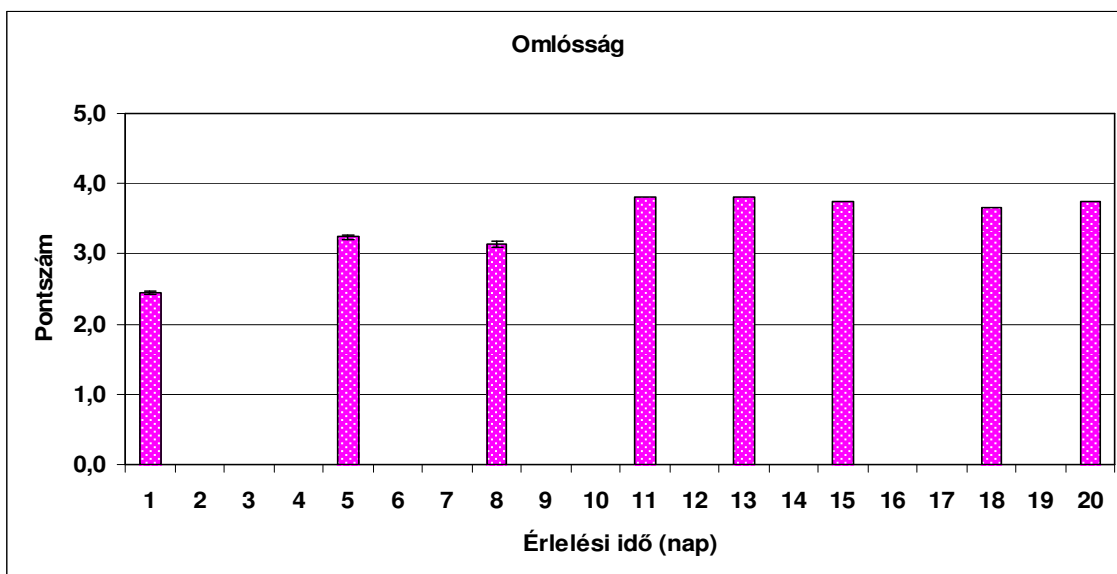


61. ábra A marhahús íz érzékettségének alakulása az érlelési napok során

Az 62. ábra a lédúságot mutatja be az érlelési idő függvényében. A lédúságot nagymértékben befolyásolja az érlelés alatt bekövetkező lévesztesség mértéke, valamint az elkészítés körülményei. A lévesztesség az érlelés végére 2-3 % volt, amely alapján a lédúságban sem volt várható, nagymértékű különbség. A sütés minden esetben medium szintig történt, ezért a minták nem mutattak különösebb eltérést a lédúság szempontjából.

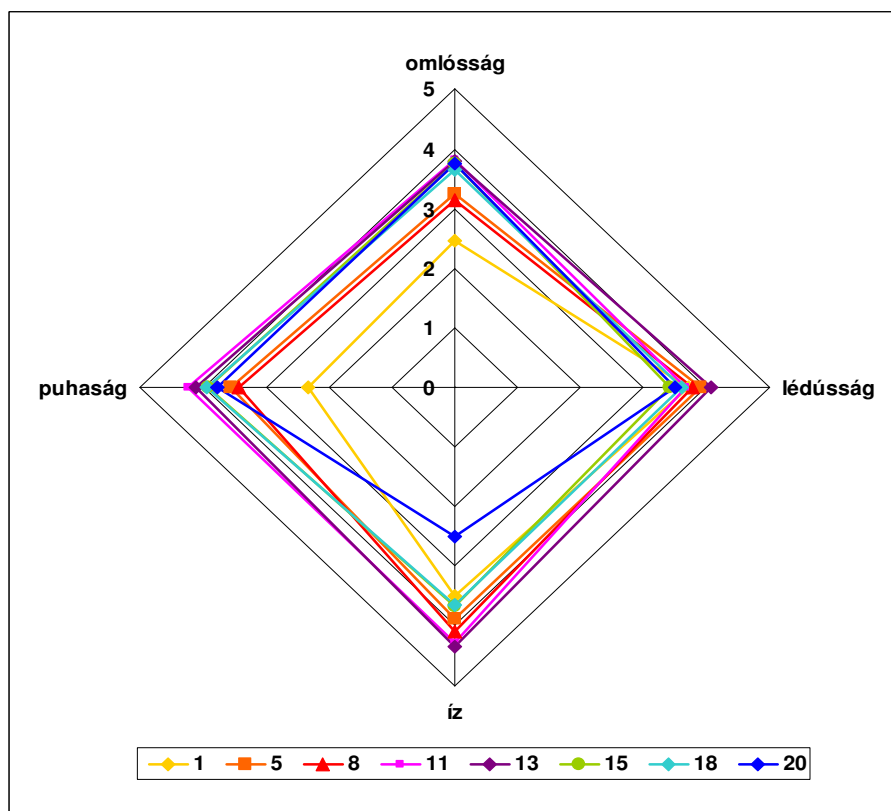


62. ábra A lédúság alakulása az érlelési napok során



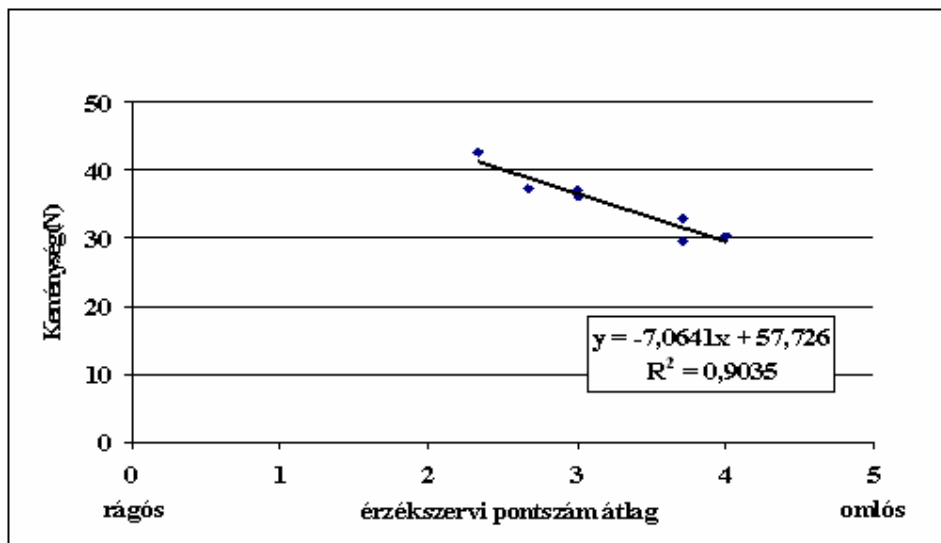
63. ábra Az omlósság alakulása az érlelési napok során

A stekek megítélése elsősorban az omlósság alapján történik, ez az egyik legfontosabb tényező, amely vagy nagyon finommá, vagy élvezhetetlenné teszi a hússzeletet. A 63. ábrán az omlósság alakulását ábrázoltam az érlelési napok függvényében, ezek alapján megállapíthatjuk, a minták a 11. naptól már kellemesen omlós állományt mutattak. Az omlósság a 11. napot követően közel azonos maradt.



64. ábra A profilanalízis eredménye

A 64. ábrán látható az érzékszervi bírálatok összesítése, mely alapján megállapíthatjuk, hogy az érési folyamatok a 13. napra érték el azt a szintet ahol a legtöbb pontszámot érte el a marhahátszín mind a puhaság mind a keménység tekintetében.



65. ábra Az érzékszervi vizsgálat és a maximális mért erőérték összefüggései

Az érzékszervileg vizsgált állományjellemzők közül a rágósságra adott pontszám a vizsgált tartományban lineáris összefüggést mutatott a kompressziós módszerrel mért adatokkal. Az összefüggés szoros kapcsolatra utal (65. ábra). Mindezek alapján megállapítható, hogy a műszeres állománymérés eredményeiből előre lehet jelezni a rágósság érzékszervi megítélését (8. táblázat).

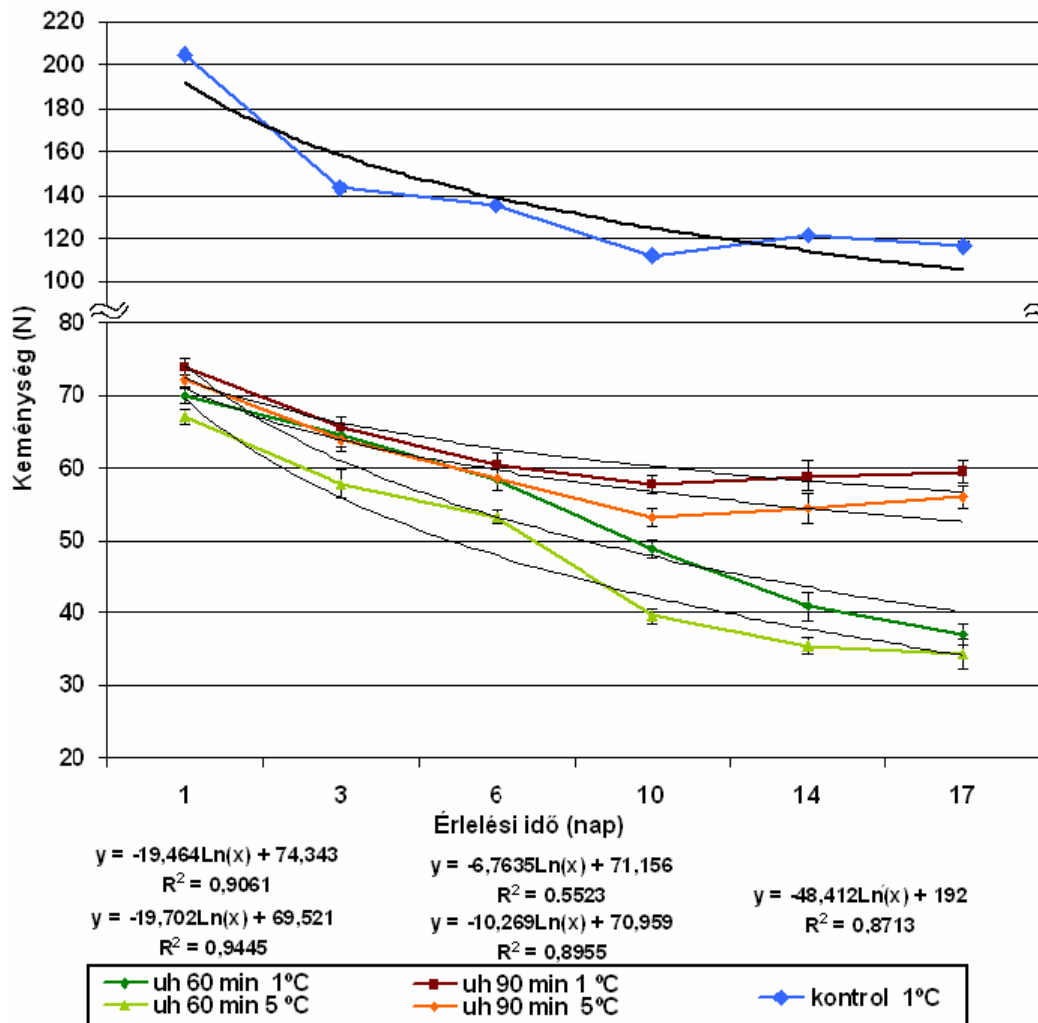
8. táblázat A kompressziós feltét által mért erő (N) és rágási munka (mJ) összefüggése az érzékszervi pontszámmal.

	Mért erő átlagérték (N)	Mért munka átlagérték (mJ)	Várható érzékszervi pontszám átlag
Állomány mérés	40	450	2
	35	370	3
	30	310	4

5.3 Nagy intenzitású ultrahang alkalmazása az érés folyamat során

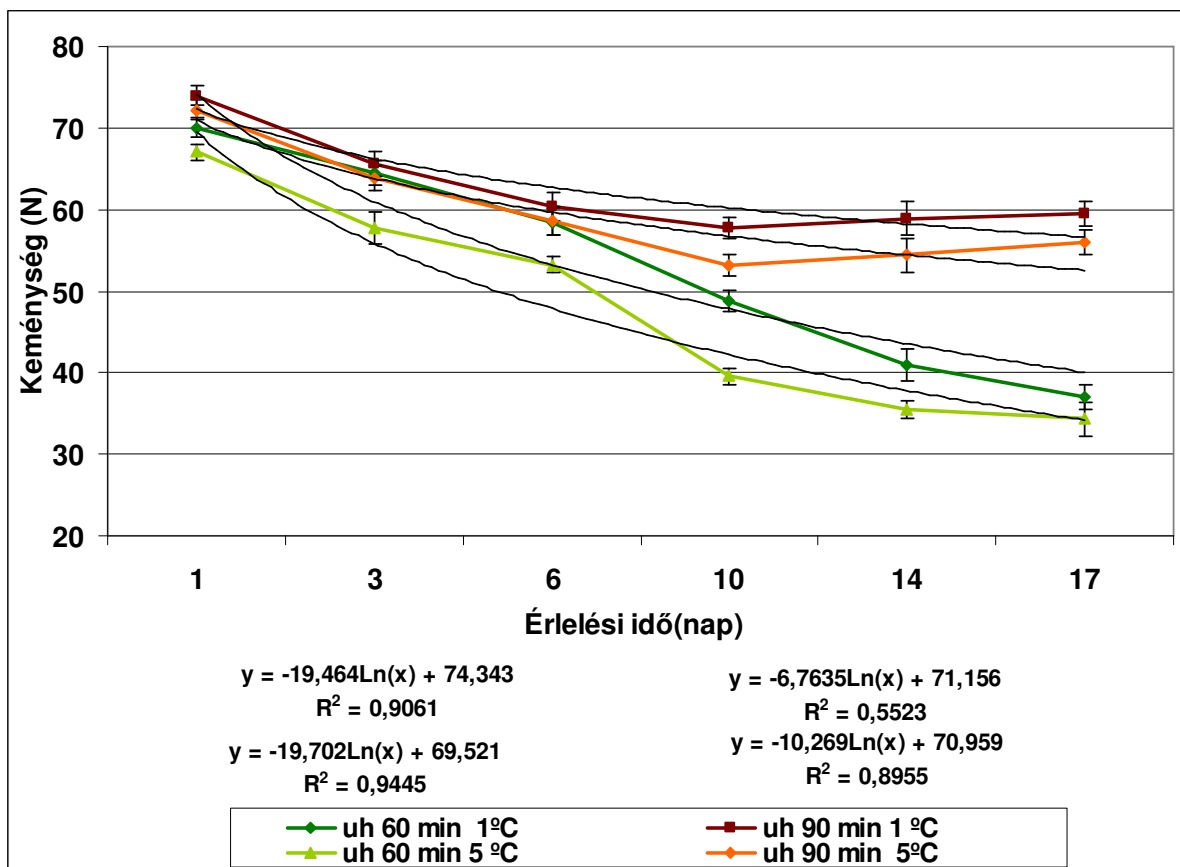
5.3.1 Az állományvizsgálat az ultrahangos kezelések és érlelési hőmérsékletek függvényében

A 60 illetve 90 percig $3\text{W}/\text{cm}^2$ intenzitású ultrahanggal való kezelés után vizsgáltam az állomány változását, az érlelési idő valamint hőmérséklet függvényében.



66. ábra A keménység alakulása az érlelési napok és kezelések során

A marhahátszín minták állománya 0 - 1°C-os érlelés során volt a legkeményebb, az érlelési hőmérséklet emelésével a 6. naptól mutatható ki szignifikáns különbség az ultrahanggal kezelt minták között. A 60 percen keresztül kezelt minták állománya volt a legkedvezőbb, a 90 perces kezelés hatására a fehérjék egy része aggregálódhatott, így ezek a minták keményebb állományt mutattak (66. ábra.). A +5 °C-on érlelt kontroll minták keménységértékei közelítették meg leginkább az ultrahanggal kezelt minták állományjellemzőit.



67. ábra A keménység alakulása az érlelési napok és kezelések során

A +5°C-on érlelt 60 percen keresztül kezelt marhahátszín állománya a 6. naptól kezdve puhább volt, mint a 0 - 1°C-on érleltké. A 90 perces aktív ultrahangos kezelés nem bizonyult eredményesebbnek, mint a 60 perces. Az érlelési hőmérséklet hatása a 6. naptól különbséget mutat (67. ábra). A gyorsabban lejátszódó érési folyamatot indokolja a katepszinek aktivitásának hőmérsékletfüggése. (GASZTONYI, LÁSZTITY 1993).

A hőmérséklet emelésével a katepszinek aktivitása megnő, ezáltal az aktinmiozin komplex részlegesen bontható, melynek eredményeként kialakul az omlós állomány. Az aktív ultrahang hatására a miofibrillumok közötti összetartó erő csökken, a rostok közötti távolság nő, amely elősegíti a porhanyós állomány kialakulását.

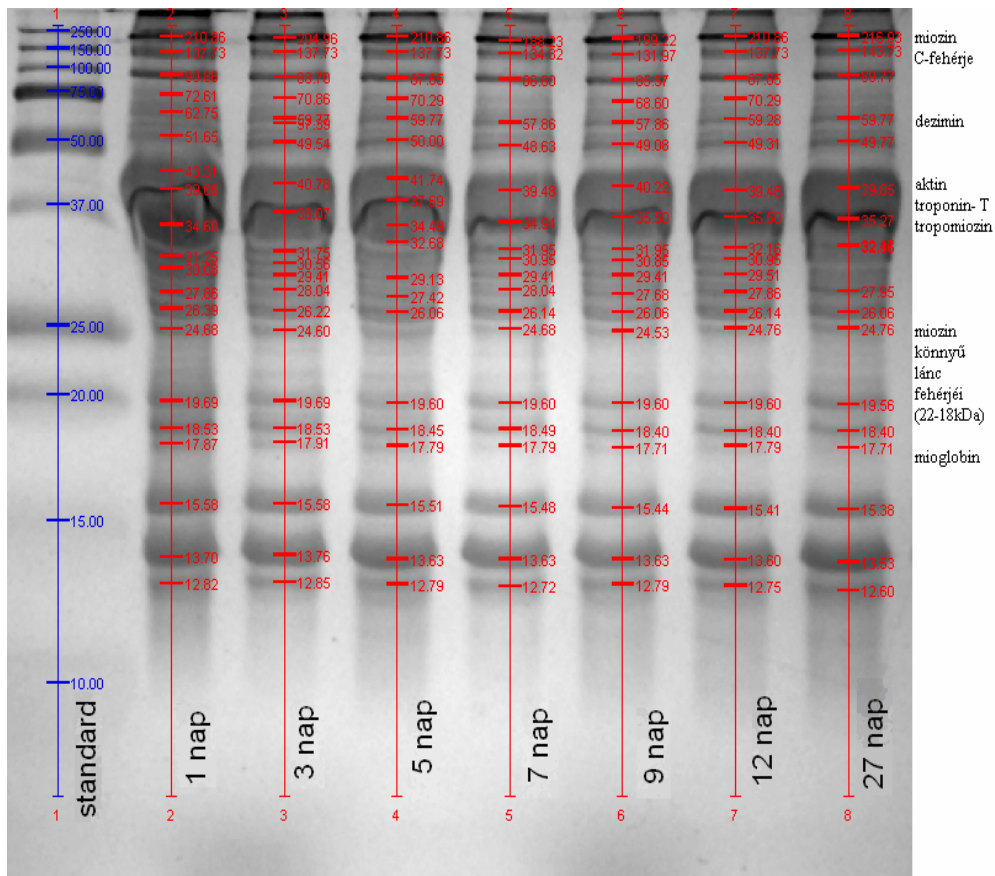
LYNG és munkatársai (1997) kísérletei alapján nagy intenzitású (63 W/cm²) aktív ultrahang az állomány változására nincs hatással. POHLMAN és munkatársai (1996) 1,5 W/cm² intenzitású ultrahangot alkalmaztak, az általuk alkalmazott kezelési idő 8, 16 illetve 24 perc volt. A kezelés eredményeképp nem tapasztaltak állománybeli változást a marhahús állományában. Eredményeim alapján a marhahátszín állományának porhanyósabbá tétele során az általam alkalmazott

alacsonyabb intenzitású (3 W/cm²) azonban hosszabb kezelési idejű aktív ultrahang alkalmazása lehet.

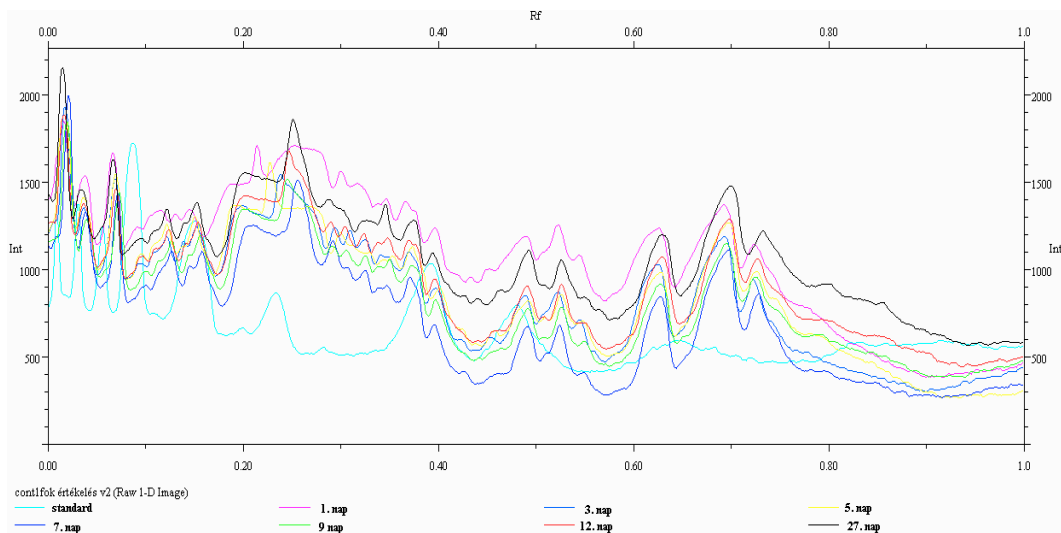
5.3.2 SDS-PAGE gélelektroforézis az ultrahangos kezelések és érlelési hőmérsékletek függvényében

Az SDS PAGE gélelektroforézis eredményeit a Quantity One program segítségével értékeltem. A kész futtatott géleket digitalizáltam, majd első lépésként azonosítottam a Standard fehérjét. Az általam használt Precision Plus standard a 250 - 15 KDa molekulatömegű fehérjéket tartalmazott. A többi fehérjesávban felvitt mintákban azonosítható fehérjéket a standard fehérjék elhelyezkedéséhez viszonyítva azonosítottam.

A 68. ábrán láthatjuk az eltelt napok függvényében a marhahátszín fehérje-összetételének változását, 0 - 1°C - on érlelt kezeletlen hátszín esetében. A mennyiségi változás alakulását a 69. ábrán figyelhetjük meg, az érlelési napok folyamán a 9. naptól nem mutatható ki különbség a fehérje denzitogram alapján.

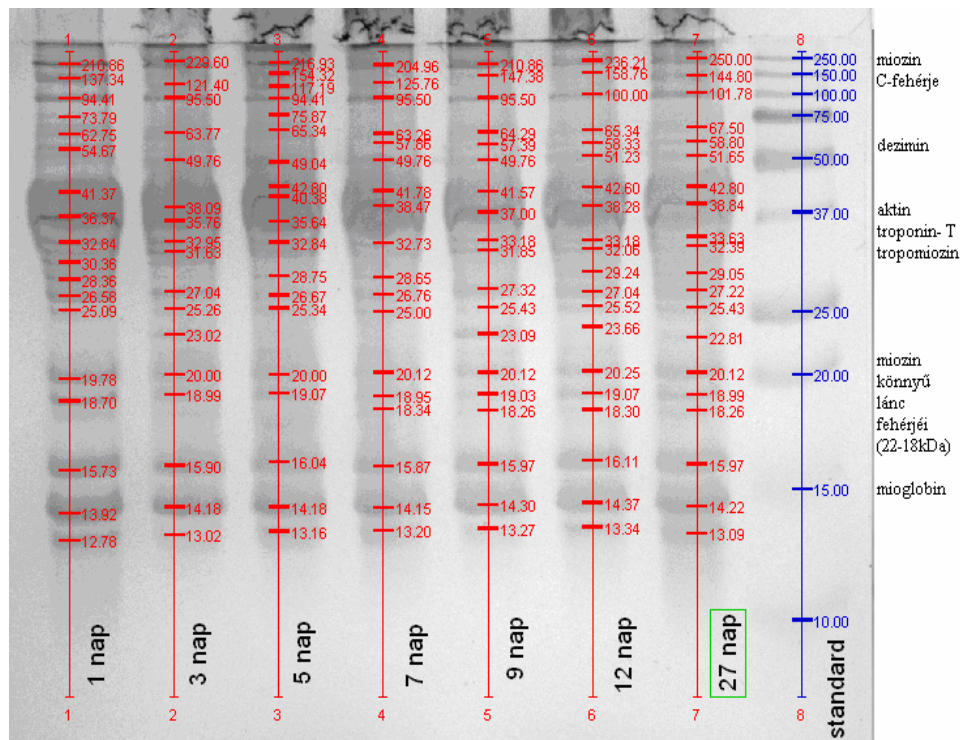


68. ábra A 0-1°C -on érlelt marhahátszín SDS-PAGE képe

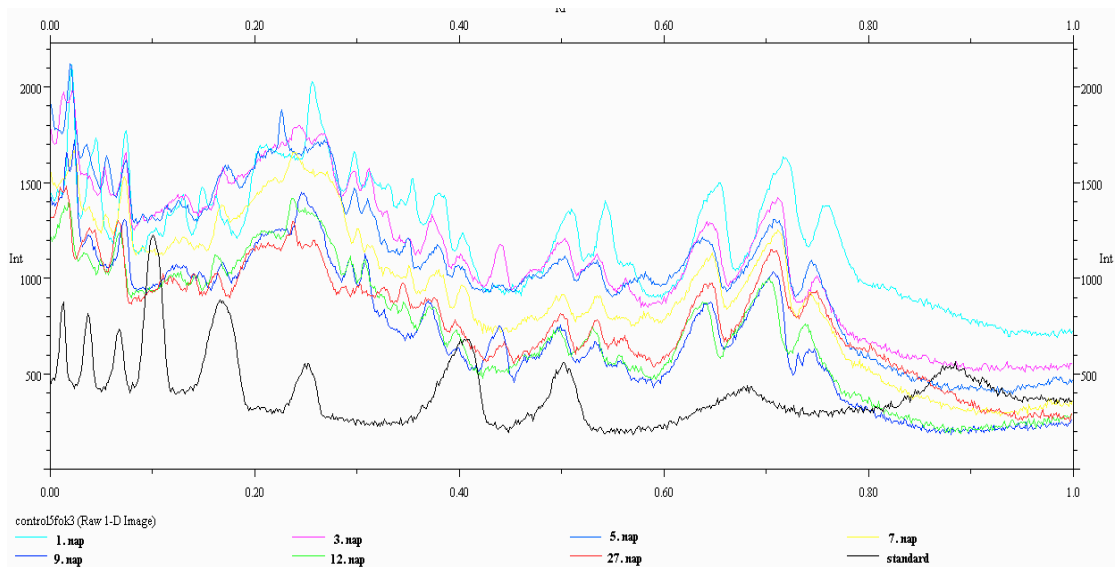


69. ábra A 0 - 1 °C-on érlelt hátszín R_f értékei

A +5 °C-on érlelt minták esetében detektált fehérjék jelintenzitása magasabb értéket mutat, főleg a kisebb molekulatömegű fehérjék esetében (70., 71. ábra). A 69. ábrán látható, a troponin - T csökkenése is, amelynek mennyisége (a fehérjesávok intenzitása alapján) az érlelési idő előrehaladtával csökkent. Érlelési vizsgálatait során a troponin T csökkenését tapasztalták CLAEY és munkatársai (1995) is. A miozin és aktin mennyisége nem változott, nagymértékben az érlelés során. SOLTANIZADEH és munkatársai (2008) + 4 °C való érlelés során hasonló eredményeket kaptak.

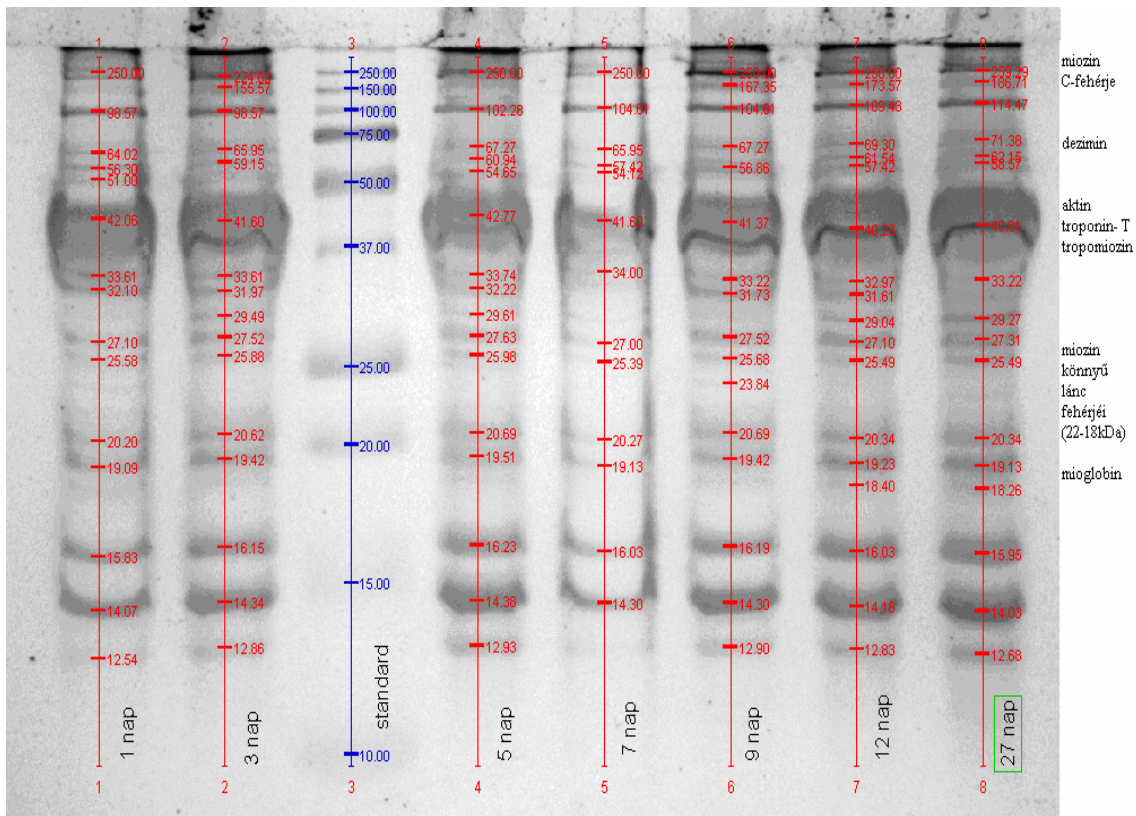


70. ábra A + 5 °C - on érlelt marhahátszín SDS-PAGE képe

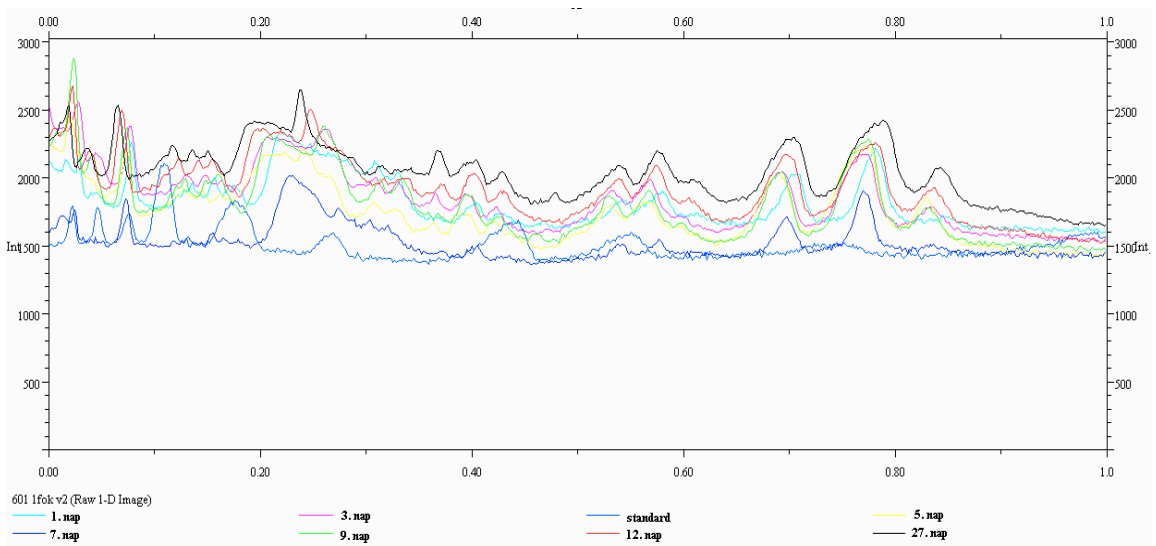


71. ábra A + 5°C-on érlelt hátszín R_f értékei

A marhahátszín 60 perces ultrahangos kezelésének hatására a kimutatható fehérjefrakciók nem változtak, az egyes csúcsok intenzitása az érlelési napokkal nő (72., 73. ábra).

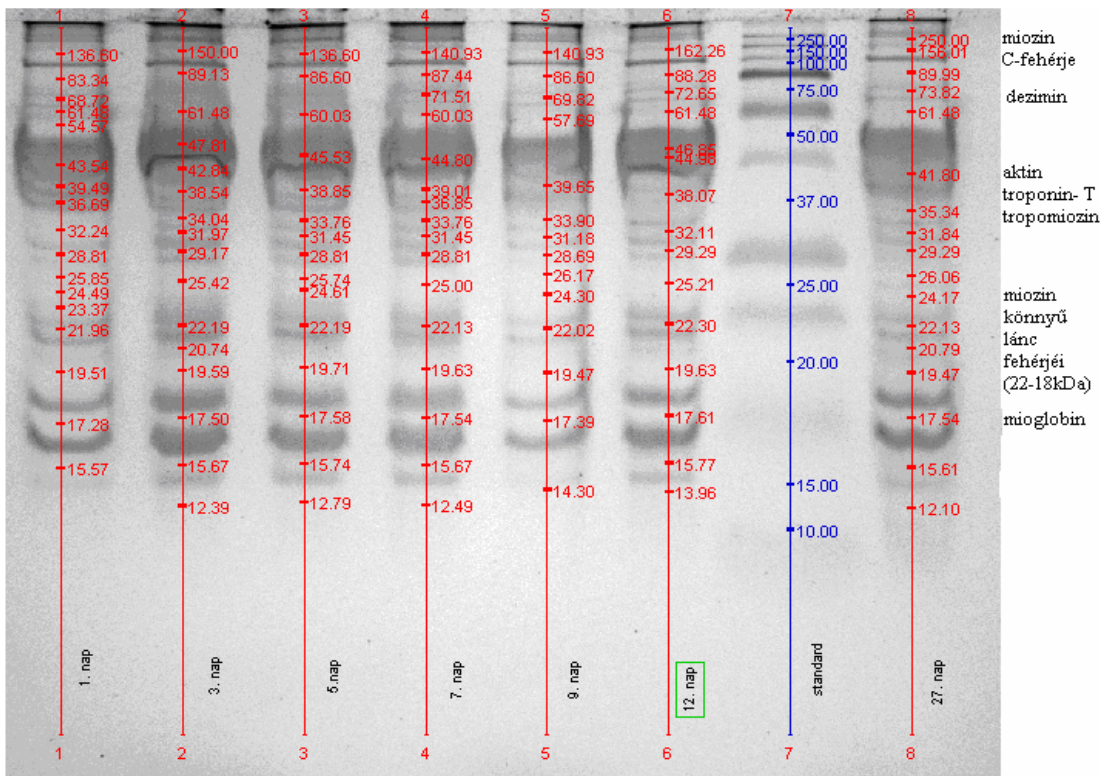


72. ábra A 0-1°C - on érlelt 60 percig ultrahanggal kezelt marhahátszín SDS-PAGE képe

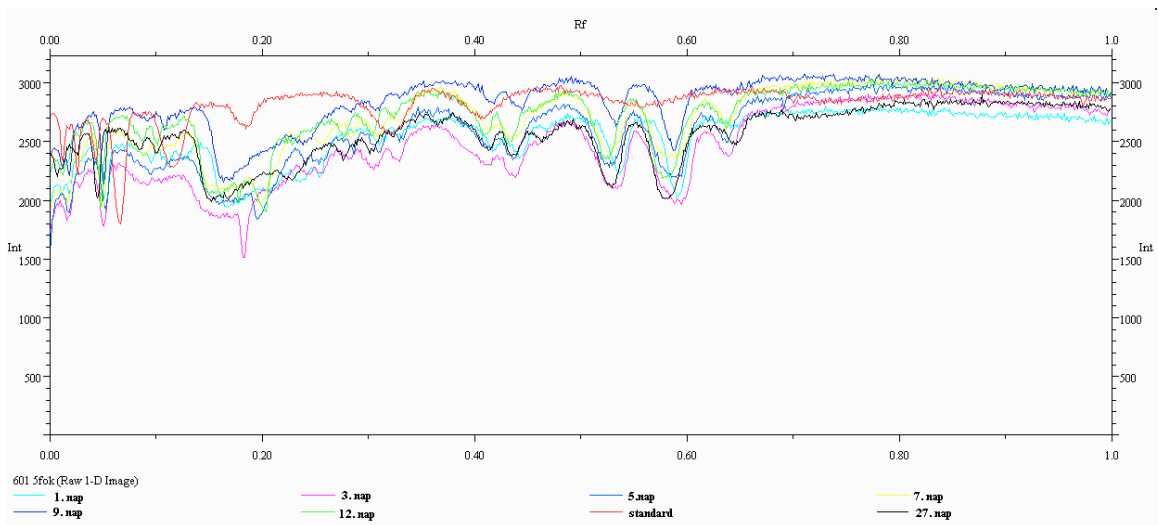


73. ábra A 0 - 1°C-on érlelt 60 percig ultrahanggal kezelt hátszín R_f értékei

A +5 °C-on érlelt és 60 percig ultrahanggal kezelt minták denzitogrammja (74. ábra) látható a kisebb molekulatömegű fehérje frakciók számának emelkedése, amely a proteolitikus enzimrendszer kiteljesedését jelzi: Az ultrahang roncsolta a membránszerkezetet, és hatására az enzimek könnyebben felszabadultak, (75. ábra) ezáltal elősegítve a fehérjék lebomlását kisebb fragmentekre.

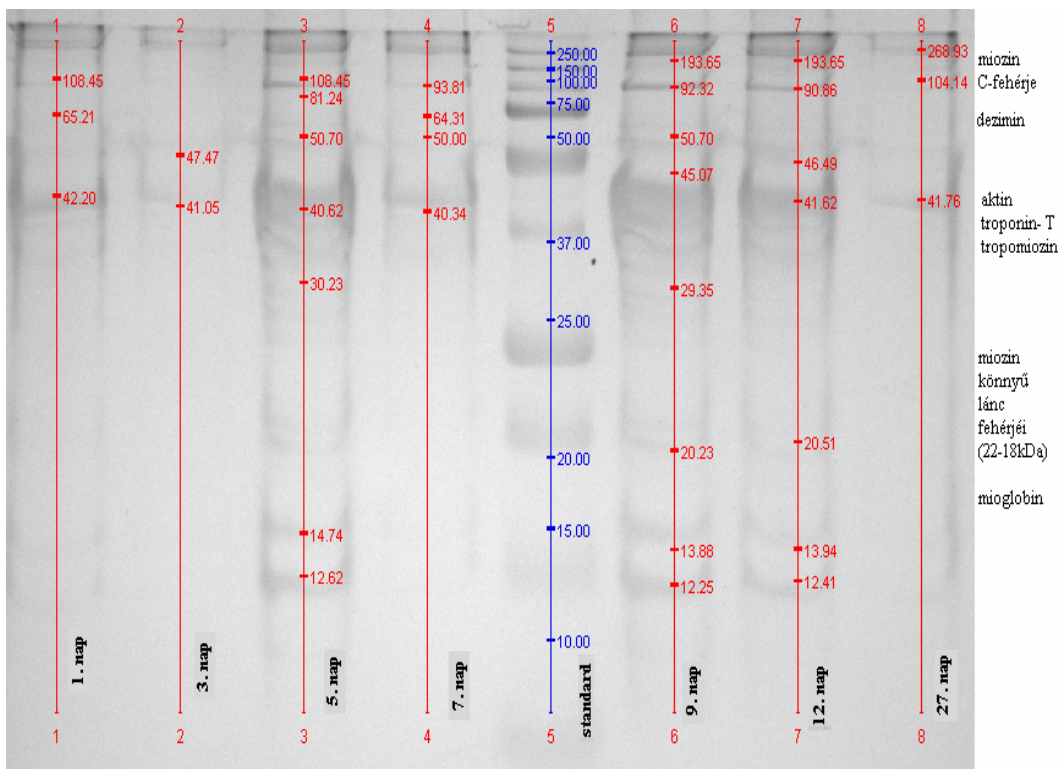


74. ábra A +5 °C - on érlelt 60 percig ultrahanggal kezelt marhahátszín SDS-PAGE képe

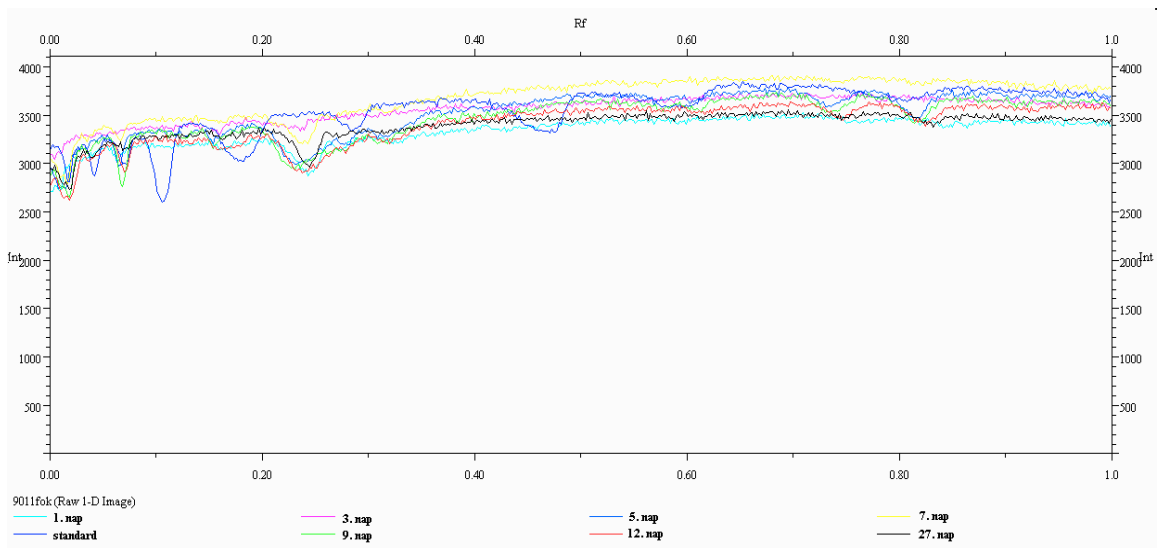


75. ábra A +5 °C - on érlelt 60 percig ultrahanggal kezelt hátszín R_f értékei

Mivel a fehérjetartalom az érlelés során nem változott, a fehérjék egy része az aktív ultrahang hatására aggregálódott, majd a futtatás során a gél zsebeiben maradt. Az érlelési napok során a dezimin (55 kDa) mennyisége. A 9. naptól nem mutatható ki különbség a fehérje denzitogramm alapján. A magasabb hőmérsékleten érlelt minták esetében detektált fehérjék jelintenzitása (R_f) magasabb értéket mutat, főleg a kisebb molekulatömegű (40 - 17 kDa) fehérjék esetében.

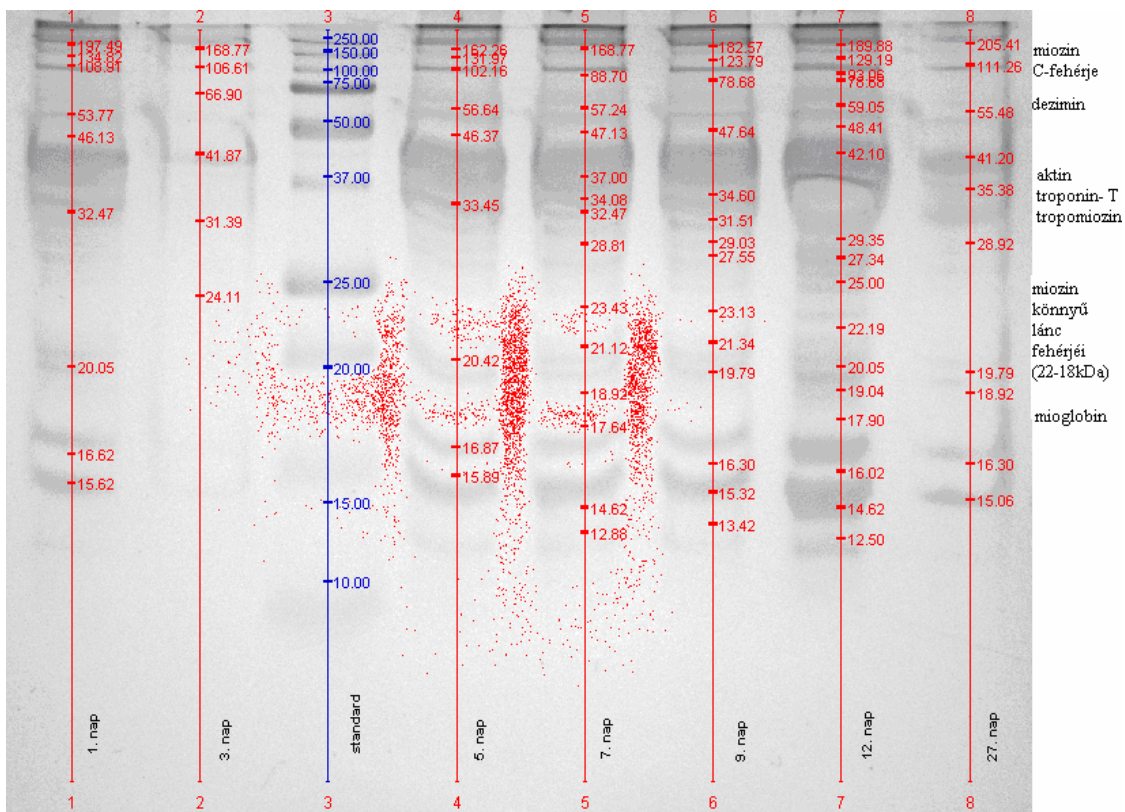


76. ábra A 0-1°C - on érlelt 90 percig ultrahanggal kezelt marhahátszín SDS-PAGE képe

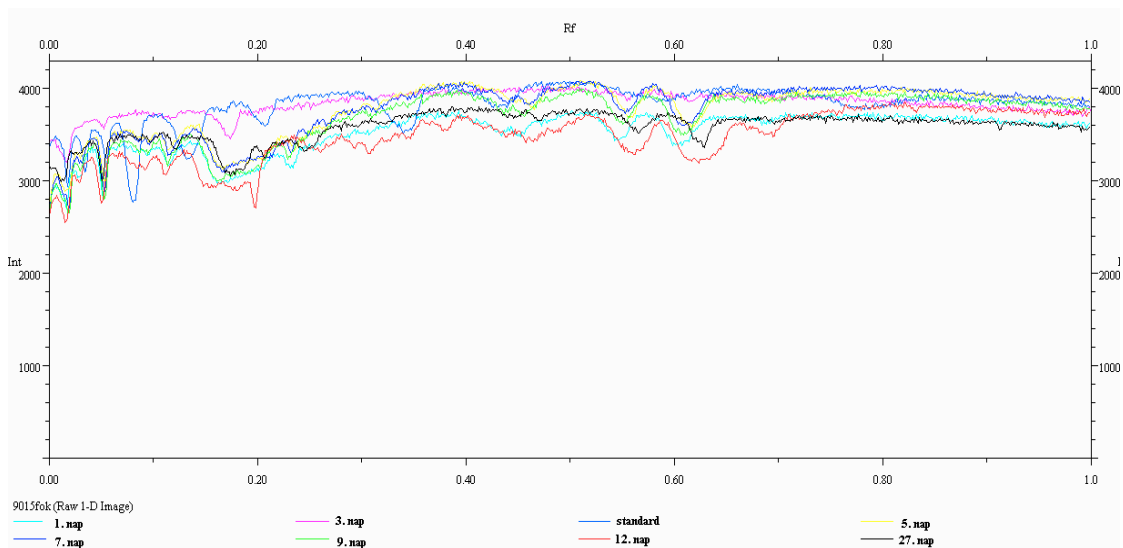


77. ábra A 0 - 1°C-on érlelt 90 percig ultrahanggal kezelt hátszín R_f értékei

Az aktív ultrahang 90 percen keresztül történő alkalmazásával az SDS - PAGE módszerrel kimutatható kisebb molekulatömegű fehérje frakciók számának emelkedése látható, amely a proteolitikus enzimrendszer kiteljesedését jelzi, az ultrahang roncsolta a membránszerkezetet, amelyen keresztül a fehérjéket bontó enzimek könnyebben felszabadultak. Ez eredményezi a nagyobb molekulatömegű fehérjék lebomlását kisebb fragmentekre.



78. ábra A +5 °C - on érlelt 90 percig ultrahanggal kezelt marhahátszín SDS-PAGE képe

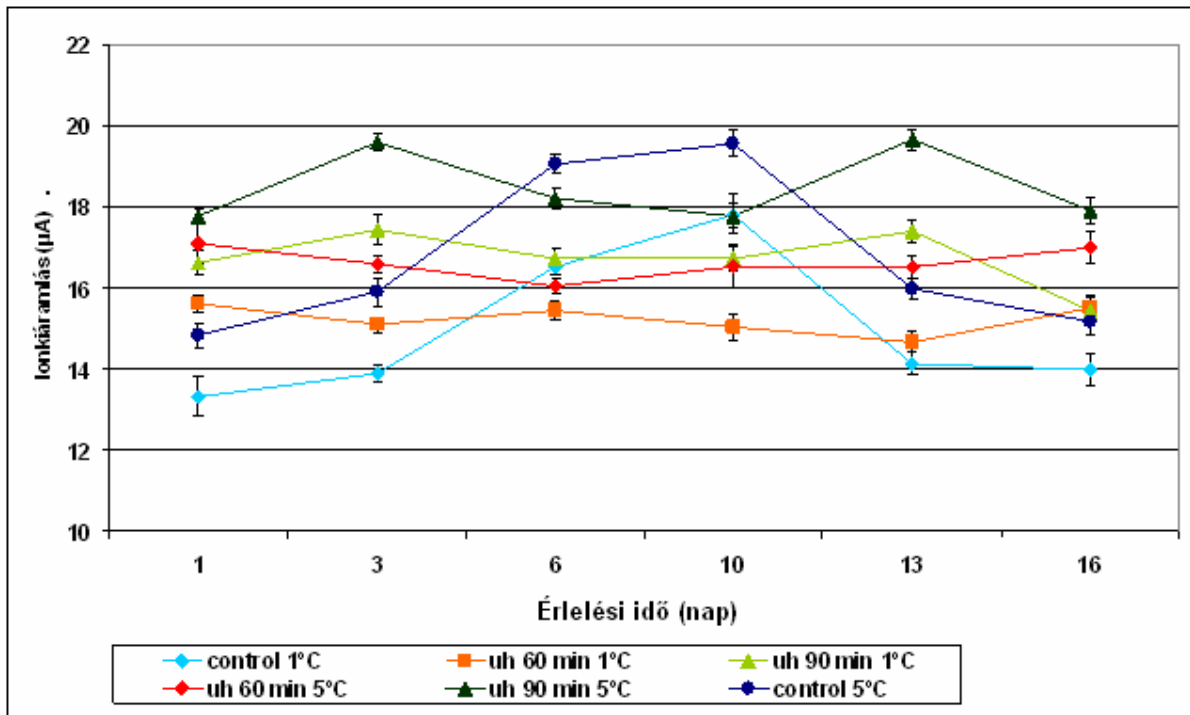


79. ábra A +5 °C - on érlelt 90 percig ultrahanggal kezelt hátszín R_f értékei

A 90 percen át kezelt minták esetében a denzitogrammon (76., 78. ábra) nagyon kevés fehérje volt kimutatható, ezek intenzitása az érlelési napok során kismértékben nőtt (77., 79. ábra). A denzitogrammok alapján jól elkülöníthető 90 percen keresztül kezelt minta a kontroll és a 60 percig kezelt mintáktól. Ennek oka a fehérjék egy része aggregálódhatott a 90 perces kezelési idő alatt, amelynek eredményeként azok a gél a zsebeiben maradtak.

Az SDS-PAGE gélelektroforézis módszer alkalmas a marhahátszín érési folyamatainak nyomonkövetésére, az ultrahanggal 90 percen keresztül kezelt minták jelintenzitása elmarad a kontroll és a 60 percig kezelt hátszínétől. A kimutatható fehérjék száma lecsökkent a 90 percen keresztül aktív ultrahanggal kezelt minták esetében. Az érlelési hőmérséklet hatása jól érzékelhető, magasabb hőmérsékleten érlelt minták fehérje helyeken kapott jelintenzitása nagyobb.

5.3.3 Az aktív ultrahang és az érlelési folyamat hatása a húrost ionkiáramlására



80. ábra Az ionkiáramlás sebessége az érlelési napok és kezelések függvényében

Az eltelt mérési idő függvényében ábrázoltam az ionkiáramlás mennyiségét, majd egyenest illesztettem a telítődési függvényekre, a továbbiakban ezen egyeneseket jellemző meredekség és tengelymetszet értékek változását vizsgáltam a kezelési idők illetve az érlelési hőmérséklet függvényében.

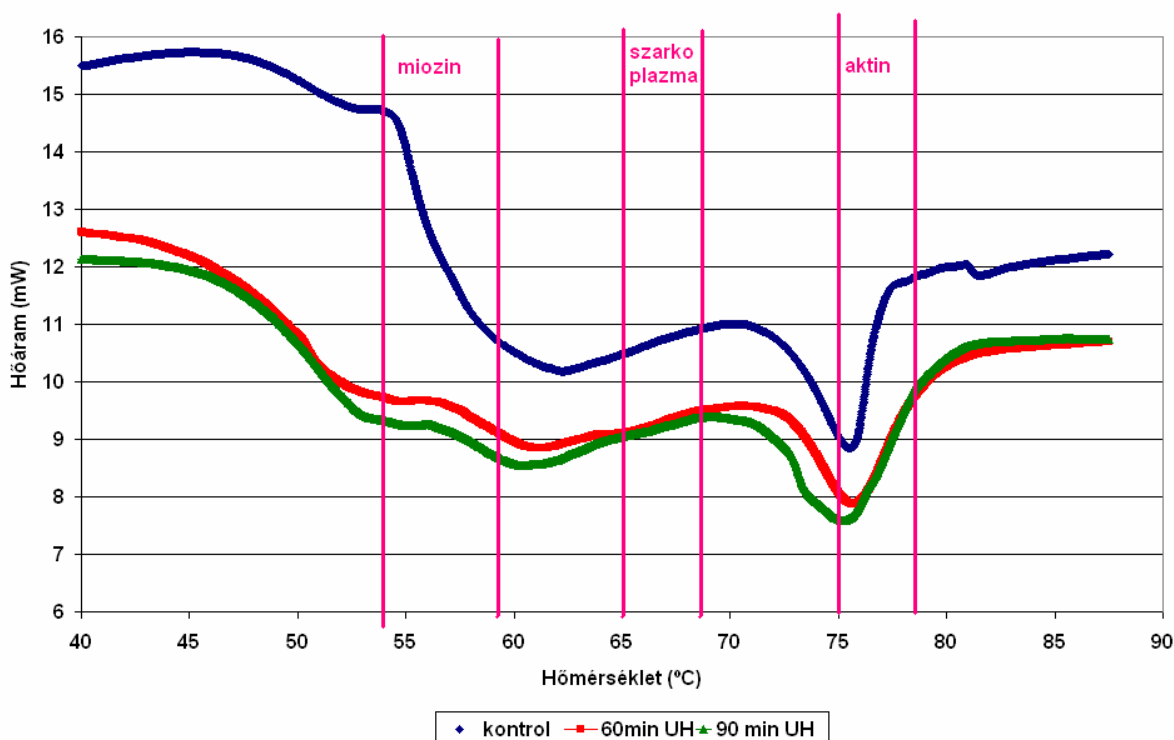
Az ionkiáramlás sebessége a 0-1°C - on érlelt minták esetében a marhahátszín érése során nőtt, amely igazolja az érés alatt a membránok átteresztőképességének változását. A +5°C-on érlelt hátszínminták membránpermeabilitása nagyobb volt, mint a 0-1°C -on érleltéké. DAMEZ és munkatársai (2007) a marhahús dielektromos tulajdonságainak változását vizsgálta az érlelés során. Tapasztalataik szerint a membránok szerkezete megváltozik az érlelési idő előrehaladtával, az elektrolitok áramlása gyorsabb.

A lékiválás mennyiségének növekedése is igazolja, a membránok permeabilitásának változását, az érés során. A lékiválás az érlelés során nem haladta meg a 2-3%-ot amely igen alacsonynak mondható, azonban az érlelés során folyamatosan nőtt, ahogyan az ionkiáramlás sebessége is (80. ábra). DAMEZ és munkatársai (2007) a marhahús dielektromos tulajdonságainak változását vizsgálta az érlelés során. Tapasztalataik szerint a membránok szerkezete megváltozik, az elektrolitok áramlása könnyebb.

A 3 W/cm^2 intenzitású ultrahang alkalmazása során a membránok szerkezete sérül. Tapasztalataim szerint az alkalmazott ultrahangos kezelési idő növelésével arányosan emelkedik az ionkiáramlás mértéke is.

5.3.4 A DSC termogrammok a különböző ultrahangos kezelések és érlelési hőmérsékletek függvényében

A DSC módszer alkalmas a hús fehérjéinek denaturációs csúcshőmérsékletének megállapítására, valamint a denaturáció entalpiájának (ΔH) meghatározását teszi lehetővé, amely az adott fehérjéről mennyiségi információt szolgáltat. A friss marhahús termogramját alapvetően 3 csúcs határozza meg, a miozin denaturációs csúcshőmérséklete $54 - 58^\circ\text{C}$ közé tehető, a következő csúcst a szarkoplazma fehérjék, illetve a kollagén alkotja, $65 - 67^\circ\text{C}$ -nál a harmadik denaturációs csúcs az aktin $75 - 77^\circ\text{C}$ - nál (THORARINSDOTTIR et al. 2002, TORNBERG 2005).



80. ábra A marhahátszín termogramjai a 0 - 1°C - os érlelés során

Tapasztalataim szerint az általam vizsgált marhahátszín minták esetében mind a három fő fehérje denaturációs hőmérséklete alacsonyabb. Így a mioziné $52 - 55^\circ\text{C}$ a szarkoplazma fehérjék illetve kollagén esetében $59 - 64^\circ\text{C}$ az aktin esetében $72 - 76^\circ\text{C}$ közé tehető (80. ábra).

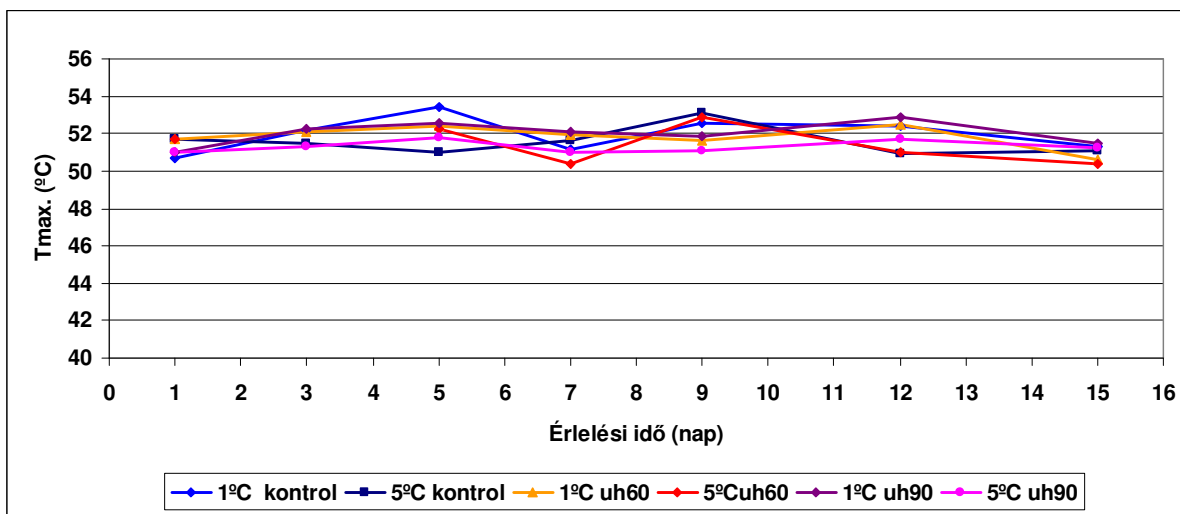
A DSC termogrammok a dolgozat M8 mellékletében szerepelnek.

A hús alapvető termodinamikai jellemzői a maximális denaturációs hőmérséklet (T_{max}), a kezdeti denaturációs csúcshőmérséklet (T_{kezd}), és a denaturációs entalpia (ΔH) amely a denaturációs csúcs alatti területet jelenti. A marhahátszín érése ideje alatt ezen paraméterek változását vizsgáltam.

9. táblázat A max. denaturációs hőmérsékletek (T_{max} , °C) a kezelések és az érlelési idő függvényében

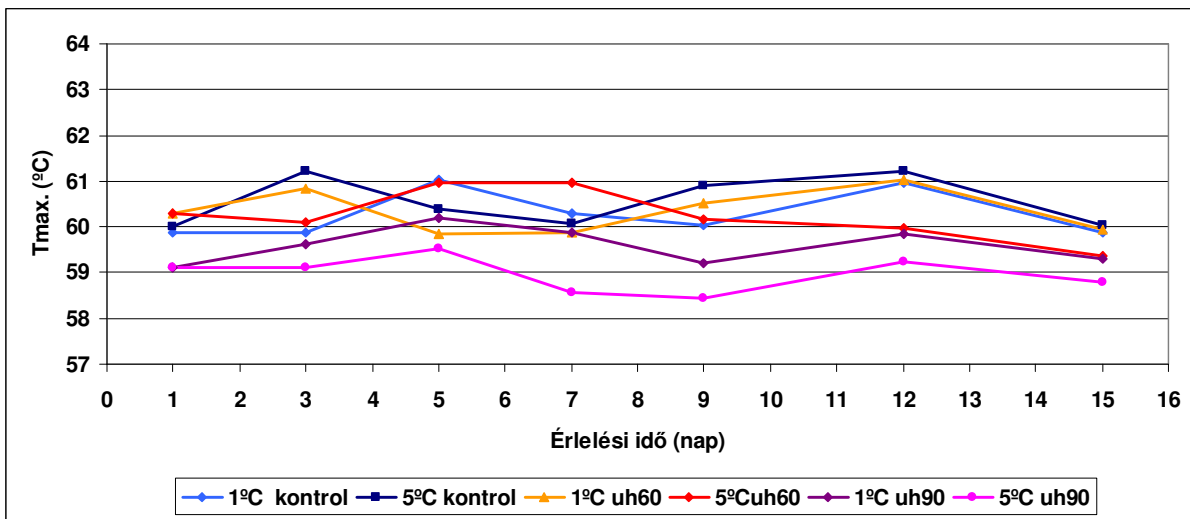
T_{max}	miozin	szarkopl.feh + kollagén	aktin	T_{max}	miozin	szarkopl.feh + kollagén	aktin
1°C kontrol				5°C kontrol			
1 nap	50,7	59,88	74,20	1 nap	51,70	60,00	74,20
3 nap	52,17	59,88	74,60	3 nap	51,49	61,21	74,53
5 nap	53,4	61,03	74,73	5 nap	50,99	60,40	74,40
7 nap	51,16	60,3	75,04	7 nap	51,61	60,06	74,49
9 nap	52,53	60,04	74,66	9 nap	53,10	60,90	74,94
12 nap	52,42	60,95	74,57	12 nap	50,96	61,22	74,63
15 nap	51,28	59,88	74,68	15 nap	51,09	60,04	74,53
1°C uh60				5°C uh60			
1 nap	51,67	60,30	73,15	1 nap	51,67	60,30	73,15
3 nap	52,10	60,83	74,25	3 nap		60,11	73,89
5 nap	52,38	59,86	74,13	5 nap	52,22	60,95	74,72
7 nap	51,93	59,89	74,80	7 nap	50,40	60,95	74,83
9 nap	51,60	60,53	74,77	9 nap	52,90	60,16	74,54
12 nap	52,49	61,03	74,59	12 nap	51,01	59,97	74,60
15 nap	50,60	59,94	73,69	15 nap	50,37	59,38	74,13
1°C uh90				5°C uh90			
1 nap	51,02	59,10	73,36	1 nap	51,02	59,10	73,36
3 nap	52,25	59,62	74,22	3 nap	51,34	59,12	73,77
5 nap	52,56	60,19	74,48	5 nap	51,78	59,53	74,68
7 nap	52,07	59,88	74,42	7 nap	50,97	58,57	74,16
9 nap	51,87	59,20	74,26	9 nap	51,07	58,44	74,36
12 nap	52,87	59,84	74,13	12 nap	51,72	59,25	74,15
15 nap	51,51	59,30	73,80	15 nap	51,22	58,80	74,09

A 9. táblázat tartalmazza a maximális denaturációs csúcshőmérsékletet, melyek alapján az esteleges, ultrahanggal való kezelés általi denaturációra következtethetünk.



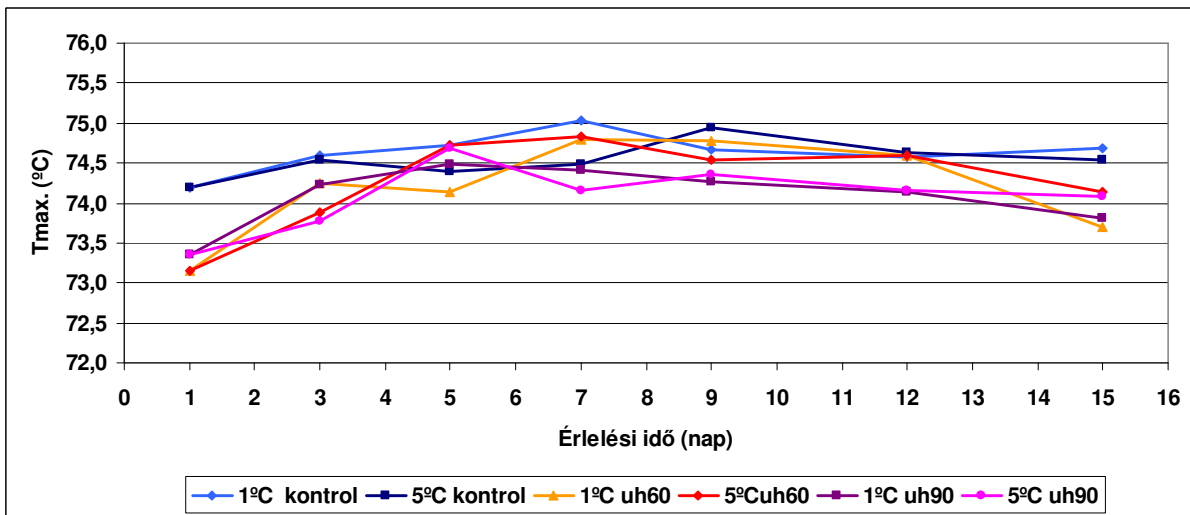
81. ábra A miozin max. denaturációs hőmérséklete a kezelések és az érlelés függvényében

A miozin esetében maximális denaturációs hőmérsékletei esetében nem találtam igazolható különbséget, a kezelt és kezeltetlen minták esetében. Az érlelési hőmérséklet hatása nem mutatható ki (81. ábra).



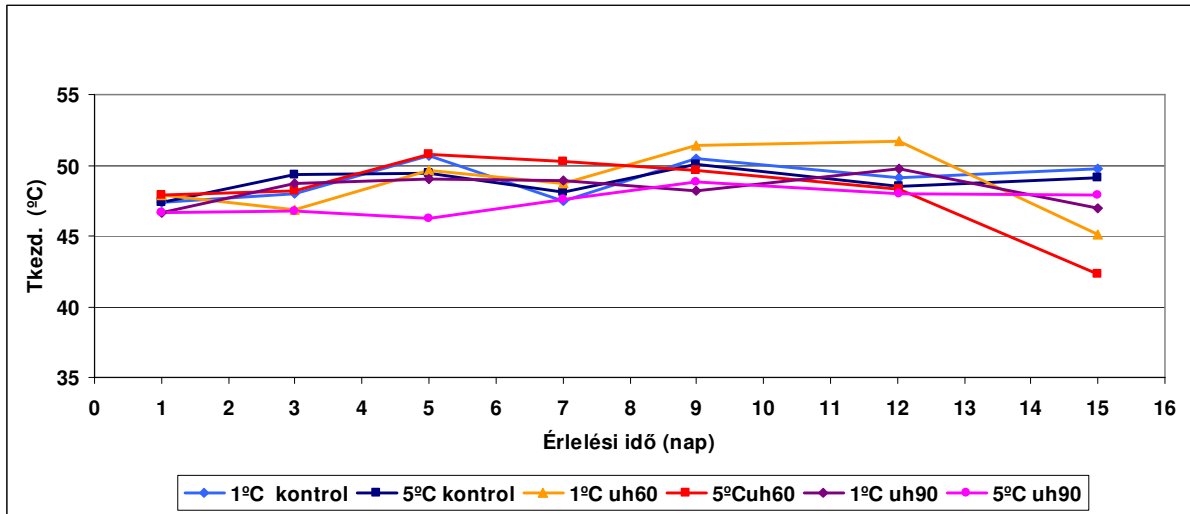
82. ábra A szarkoplazma fehérjék és a kollagén max. denaturációs hőmérséklete a kezelések és az érlelés függvényében

A szarkoplazma fehérjék illetve a kollagén esetében a 90 peren keresztül aktív ultrahanggal kezelt mintáknál volt megfigyelhető egy 1, 5 - 2, 5 °C-os Tmax. csökkenés, amely már az érlelés kezdetén is jellemezte a fehérjeállapotot, ez igazolja a minták állományának visszakeményedését az érlelés során, valamint a fehérjék 90 percen történő kezelésének részleges denaturáló hatását. A kontrol minták illetve a 60 percen keresztül kezelt minták esetében nem tapasztaltam különbséget. Az érlelési hőmérséklet hatása nem mutatható ki (82. ábra).



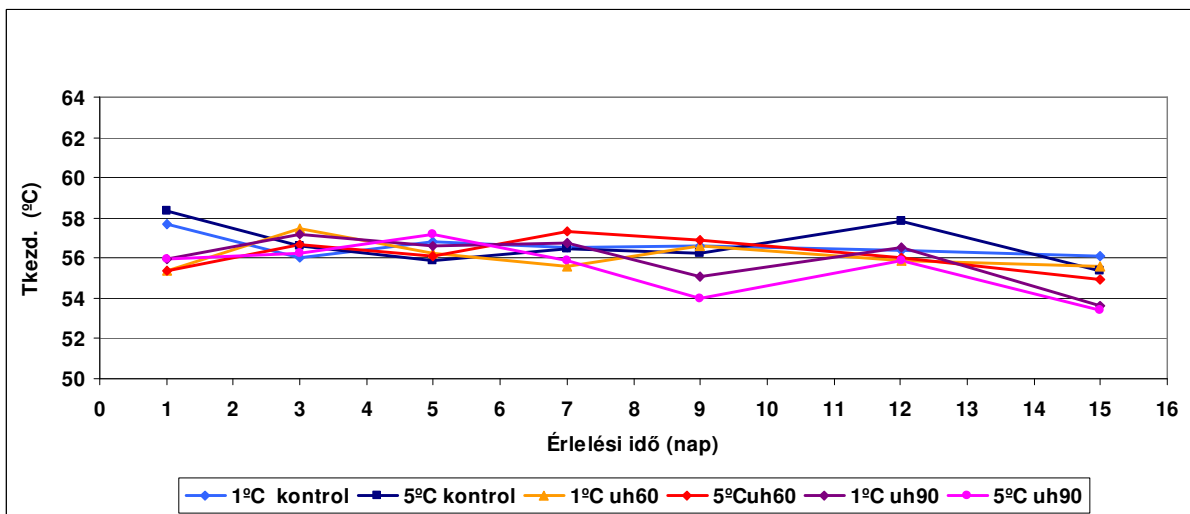
83. ábra Az aktin max. denaturációs hőmérséklete a kezelések és az érlelés függvényében

Az aktin esetében ugyanígy megfigyelhető ez a tendencia, a 90 percen keresztül ultrahanggal kezelt minták esetén a maximális denaturációs csúcshőmérséklet csökken. A denaturációs csúcshőmérséklet csökkenésének valószínű oka, hogy az aktív ultrahang roncsoló hatására a fehérjékben az aminosavak közötti kötések meggyengülnek, felbomlanak, így azok denaturálódásához kisebb hőmérséklet is elegendőnek bizonyult (83. ábra).



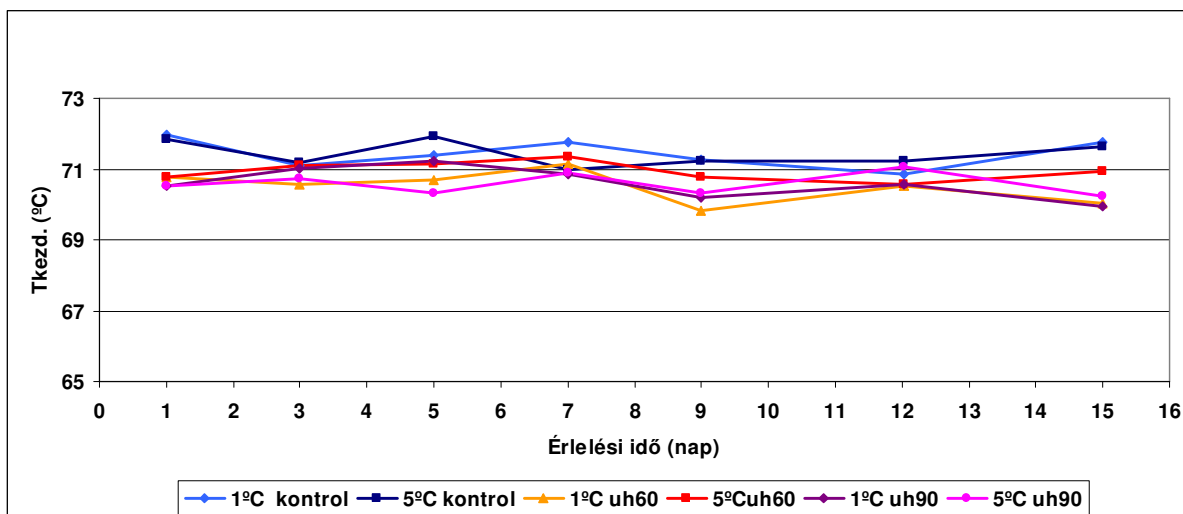
84. ábra A miozin kezdeti denaturációs hőmérséklete a kezelések és az érlelés függvényében

A miozin kezdeti denaturációs hőmérséklete a kezelések hatására nem változott jelentős mértékben, az aktív ultrahanggal 90 percen keresztül kezelt minták esetében az érlelés végére jelentős kezdeti denaturációs hőmérséklet csökkenést tapasztaltam (84. ábra).



85. ábra A szarkoplazma fehérjék és a kollagén kezdeti denaturációs hőmérséklete a kezelések és az érlelés függvényében

A szarkoplazma fehérjéi illetve a kollagén esetében nem adódott különbség az egyes kezelési idők vagy a különböző hőmérsékleten való érlelés között (85. ábra). Az érlelési periódus végére kismértékű kezdeti denaturációs hőmérséklet csökkenés volt tapasztalható, a 90 percen keresztül kezelt minták esetében (10. táblázat). Az aktin esetében sem volt jelentős különbség az egyes minták közötti kezdeti denaturációs hőmérsékletek között (86. ábra).



86. ábra Az aktin kezdeti denaturációs hőmérséklete a kezelések és az érlelés függvényében

10. táblázat A kezdeti denaturációs (Tkezd, °C)hőmérsékletek a kezelések és az érlelési idő függvényében

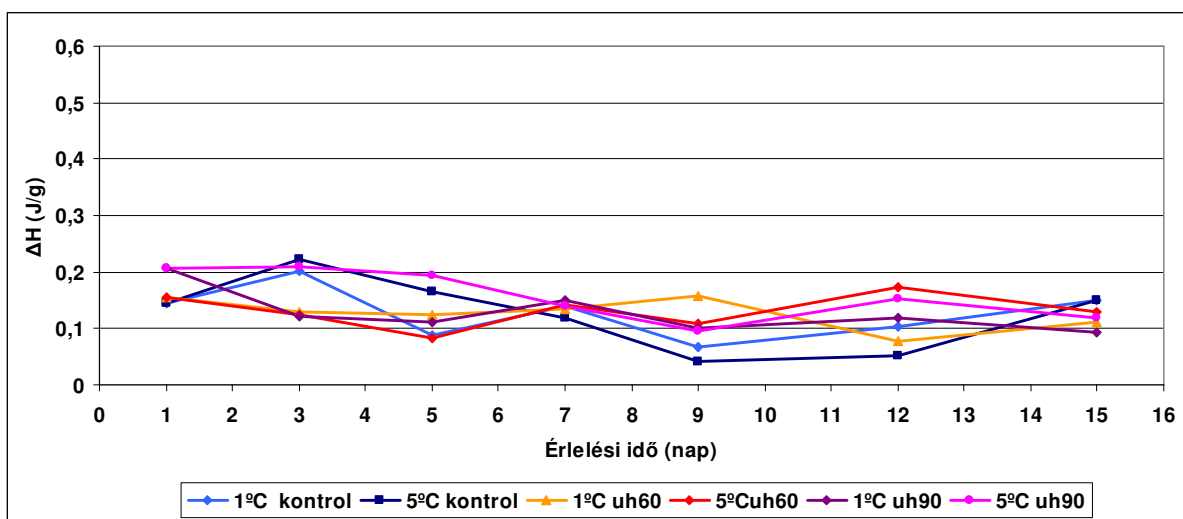
Tkezd	miozin	szarkopl.feh + kollagén	aktin	Tkezd	miozin	szarkopl.feh + kollagén	aktin
1°C kontrol				5°C kontrol			
1 nap	47,37	57,69	71,95	1 nap	47,37	58,32	71,85
3 nap	48,04	56,04	71,09	3 nap	49,30	56,63	71,18
5 nap	50,63	56,85	71,40	5 nap	49,40	55,88	71,93
7 nap	47,43	56,55	71,76	7 nap	48,08	56,48	70,98
9 nap	50,44	56,63	71,27	9 nap	50,09	56,24	71,23
12 nap	49,10	56,37	70,86	12 nap	48,50	57,85	71,21
15 nap	49,70	56,07	71,76	15 nap	49,10	55,39	71,63
1°C uh60				5°C uh60			
1 nap	47,88	55,36	70,79	1 nap	47,88	55,36	70,79
3 nap	46,90	57,48	70,57	3 nap	48,22	56,68	71,12
5 nap	49,68	56,26	70,69	5 nap	50,77	56,06	71,15
7 nap	48,68	55,58	71,14	7 nap	50,30	57,33	71,36
9 nap	51,42	56,57	69,82	9 nap	49,59	56,86	70,77
12 nap	51,73	55,91	70,53	12 nap	48,35	56,00	70,57
15 nap	45,13	55,58	70,04	15 nap	42,29	54,90	70,94
1°C uh90				5°C uh90			
1 nap	46,60	55,95	70,54	1 nap	46,60	55,95	70,54
3 nap	48,70	57,16	71,04	3 nap	46,78	56,22	70,73
5 nap	49,01	56,60	71,24	5 nap	46,28	57,19	70,32
7 nap	48,93	56,78	70,86	7 nap	47,56	55,88	70,88
9 nap	48,19	55,05	70,20	9 nap	48,81	53,97	70,32
12 nap	49,77	56,51	70,57	12 nap	48,01	55,85	71,07
15 nap	47,00	53,60	69,95	15 nap	47,88	53,42	70,24

A denaturációs entalpia a denaturációs csúcs alatti területet jelenti, amelyből következtethetünk az adott fehérje mennyiségére. Az általam vizsgált marhahátszín denaturációs entalpiái alapján arra következtethetünk, hogy az érlelési hőmérséklet emelkedésével az entalpia nő (11. táblázat).

11. táblázat A denaturációs entalpiák (ΔH , J/g) a kezelések és az érlelési idő függvényében

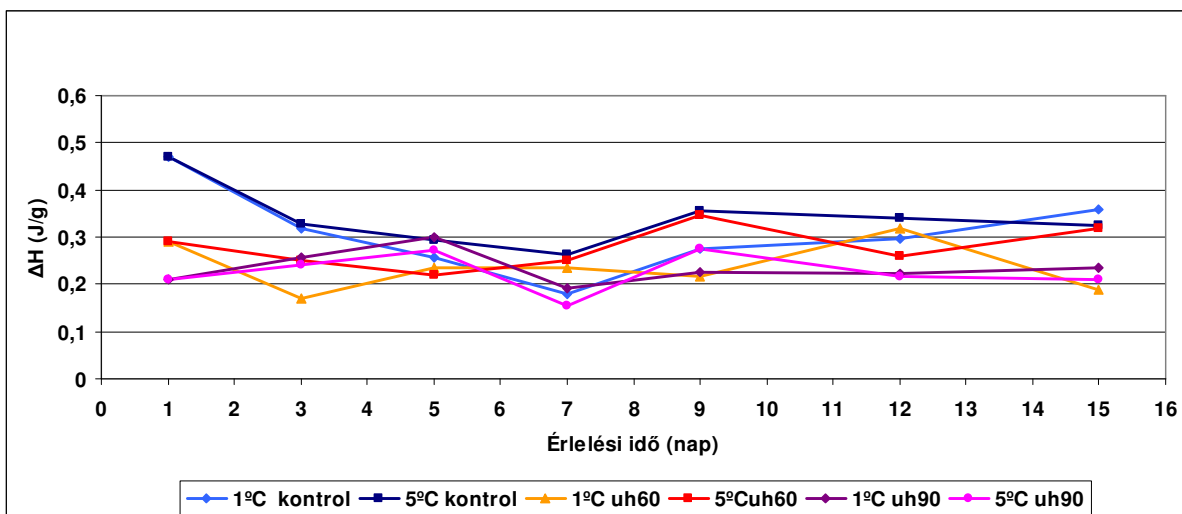
ΔH (J/g)	miozin	szarkopl.feh + kollagén	aktin	ΔH (J/g)	miozin	szarkopl.feh + kollagén	aktin
1°C kontrol				5°C kontrol			
1 nap	0,144	0,469	0,464	1 nap	0,144	0,469	0,464
3 nap	0,202	0,320	0,332	3 nap	0,275	0,328	0,402
5 nap	0,088	0,257	0,364	5 nap	0,166	0,294	0,437
7 nap	0,140	0,180	0,445	7 nap	0,118	0,263	0,451
9 nap	0,068	0,275	0,443	9 nap	0,042	0,355	0,476
12 nap	0,105	0,297	0,340	12 nap	0,020	0,340	0,397
15 nap	0,151	0,360	0,366	15 nap	0,150	0,325	0,438
1°C uh60				5°C uh60			
1 nap	0,156	0,290	0,399	1 nap	0,156	0,290	0,399
3 nap	0,128	0,170	0,476	3 nap	0,123	0,250	0,420
5 nap	0,124	0,236	0,487	5 nap	0,082	0,220	0,479
7 nap	0,134	0,234	0,468	7 nap	0,206	0,249	0,482
9 nap	0,157	0,217	0,450	9 nap	0,109	0,348	0,453
12 nap	0,006	0,318	0,446	12 nap	0,174	0,261	0,392
15 nap	0,111	0,190	0,385	15 nap	0,130	0,320	0,375
1°C uh90				5°C uh90			
1 nap	0,208	0,211	0,383	1 nap	0,208	0,211	0,383
3 nap	0,121	0,257	0,406	3 nap	0,210	0,240	0,360
5 nap	0,111	0,299	0,461	5 nap	0,233	0,271	0,307
7 nap	0,149	0,193	0,391	7 nap	0,140	0,156	0,435
9 nap	0,100	0,225	0,473	9 nap	0,096	0,274	0,428
12 nap	0,120	0,223	0,406	12 nap	0,153	0,216	0,375
15 nap	0,094	0,235	0,397	15 nap	0,120	0,210	0,411

A deanturációs entalpia (87. ábra) csökkenésének oka, hogy a nagyobb érlelési hőmérséklet hatására a proteolitikus enzimek könnyebben fejtik ki hatásukat, megkezdve a fehérjeszálak közötti összetartó erő csökkentését, melynek eredménye, hogy kevesebb energia befektetés szükséges a denaturálódáshoz (10. táblázat).



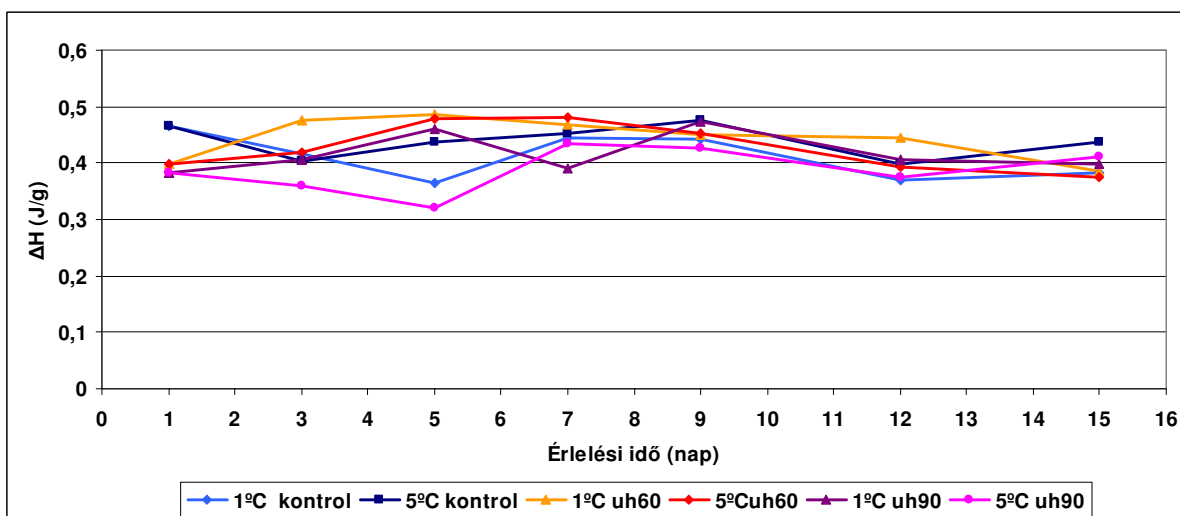
87. ábra A miozin denaturációs entalpiája a kezelések és az érlelés függvényében

A miozin esetében ez a hatás kisebb mértékben jelentkezik (87. ábra), azonban a szarkoplazma fehérjék esetében az érlelési hőmérséklet hatása jelentős (88. ábra).



88. ábra A szarkoplazma fehérjék és a kollagén denaturációs entalpiája a kezelések és az érlelés függvényében

A szakoplazma fehérjéi illetve a kollagén denaturációs entalpiáinak esetében a 90 percen keresztül kezelt mintáknak kisebb energiabefektetés volt szükséges a denaturációhoz.



89. ábra Az aktin denaturációs entalpiája a kezelések és az érlelés függvényében

Az aktin denaturációs entalpiája az érés során nem változott, a 90 percen keresztül ultrahanggal kezelt minták esetében látható némi csökkenés, mely ugyancsak a részleges denaturációra utal (89. ábra).

Összességében megállapítható, hogy az aktív ultrahang a szarkoplazma fehérjék illetve a kollagén fehérjeszerkezetét befolyásolja. A 90 perces aktív ultrahangos kezelés hatására ezen fehérjék kezdeti denaturációs hőmérséklete csökken, amely részleges denaturációra utal.

6 Következtetések, javaslatok

A vizsgált érlelési technológia ipari alkalmazása

A hazai fogyasztói igények változása felszínre hozta az érlelt hús iránti keresletet. Munkám során célként tűztem ki a marhahátszín érési folyamatainak vizsgálatát, tekintettel az élelmiszerbiztonsági feltételekhez igazodó kis hőmérsékletű érlelésre. Ezzel együtt célul tűztem az aktív ultrahang alkalmazási lehetőségének vizsgálatát a érlelési folyamattal párhuzamosan a hús porhanyóosságának fokozására.

Vizsgálataim egy részét innovációs kutatás keretei között végeztem el, melynek eredményeképp egy hazai üzem a kifejlesztett technológiát alkalmazza az érlelt marhahús előállítására. Munkám, vizsgálataim eredményei jelentősen hozzájárultak a technológia kialakításához. Az innovációs munka során feladatunk volt, az érlelt marhahús fogyasztói csomagolásának fejlesztése, és polcon tarthatóságának vizsgálata is. Ezen vizsgálatok melyeket a Hűtő és Állattermék Technológiai Tanszék kutatókollektívája végzett, nem képezték dolgozatom tárgyát. Az általam vizsgált érlelési technológia eredményeként a kis hőmérsékleten (0 - 1 °C) érlelt marhahátszín módosított atmoszférás csomagolásban a kereskedelmi igényeket kielégíti. A Tanszék kollektívájával közösen végzett további kutatás igazolta, hogy a kis hőmérsékleten alkalmazott érlelési technológia eredményeként megjelenő termék kielégíti a továbbforgalmazáshoz szükséges élelmiszerbiztonsági feltételeket.

Az aktív ultrahang hús porhanyóosságára kifejtett kedvező eredményei ellenére annak ipari alkalmazása jelenleg várat magára. Bár vizsgálataim alapján megállapítható, hogy az aktív ultrahang alkalmazásával a marhahús porhanyósítása gyorsabb a hagyományos érlelési technológiánál, a technológia műszaki feltételei üzemi körölmények között ma még nem adottak. Az ipari alkalmazás bevezetéséhez további műszaki kutatás és fejlesztés szükséges.

7 Összefoglalás

Magyarországon az elmúlt négy évtized során folyamatosan mérséklődött a marhahús fogyasztás, melyben közrejátszott- többek között- a vörös húsok élettanilag negatív megítélése is. Marhahús esetében a porhanyóosság az egyik legfontosabb, a hús fogyasztásának élvezeti értékét meghatározó tényező, amely nemcsak az állat korából adódik, hanem a hús érettségi állapotából is.

A húsérés folyamata azon biokémiai változások összessége, amely során a proteolitikus enzimek hatásának eredményeként létrejön a jellemző íz, illetve megfelelő állomány. Ezen folyamatokhoz szükséges idő erősen hőmérsékletfüggő. Az utóbbi években a bizonyos vásárlói réteg igényeinek és ízlésének változásával és a kerti grillezés divatjával piaci igény jelent meg az érlelt marhahús előállítására és forgalmazására. Az érlelési technológia alkalmazása célszerűen bizonyos - erre alkalmas testtípusokra - korlátozódik. Az egyik legalkalmasabb marhahús típus a hátszín.

Élelmiszerbiztonsági okok miatt ma megkívánt a hús vágás utáni hűtése, mely a nagy hőmérsékleten történő, hagyományos érlelési technológia változtatását igényli.

Munkám során az élelmiszerbiztonsági szempontból elfogadható (0 - 5 °C) hőmérséklettartományban történő érlelés tanulmányozását választottam, vákuumcsomagolás alkalmazásával, kiemelve az intervallum alsó és felső tartományát. A vákuumcsomagolás, mint az anaerob körülmények biztosítása előnyös a könnyű kezelhetőség, és a technológiai megvalósíthatóság szempontjából.

Célul tűztem ki, hogy tanulmányozzam a marhahús érése során végbemenő, fizikai és kémiai, biokémiai folyamatokat, mélyebb információt szerezzek a lejátszódó folyamatokról, valamint hogy olyan, üzemek által is alkalmazható érlelési technológiát dolgozzak ki, mely egyszerűbbé és gyorsabbá teheti az érlelt marhahús előállítását. E cél érdekében választottam az aktív ultrahang alkalmazásának vizsgálatát, amely az üzemek által is biztonságosan megvalósítható érlelési technológia lehet.

Az érlelési kísérlet során két hőmérséklet intervallumban vizsgáltam a marhahátszín érésének folyamatát. Az érlelés alatt vizsgáltam a szín, pH, léveszteség, állomány illetve az érzékszervi tulajdonságok változását, valamint a mikrobiológiai állapot alakulását is. Az érési folyamat alatt nyomon követtem a hús (marhahátszín) kalorimetrikus tulajdonságait, a rostokban végbemenő ionáramlási folyamatok mértékének alakulását, illetve a kimutatható fehérjék mennyiségének és minőségének változását. Munkám során az érési folyamatok illetve a porhanyósodás folyamatát aktív ultrahang alkalmazásával igyekeztem gyorsítani.

A fogyasztó értékítéletét meghatározó húsminőségi jellemző a szín. Vizsgálataim során a világossági tényező (L^*), vörös-zöld színtényező (a^*) illetve a kék-sárga színtényező (b^*) változásait figyeltem az alacsonyabb illetve magasabb hőmérsékletű érlelés során. A hús érési folyamata a hullamerevség kialakulásától kezdve jól jellemezhető a pH alakulásával is. A pH csökkenése során a fiziológiás 7,2 körüli érték 5,5-5,6 körülire változik. Tapasztalataim szerint a marhahátszín érési folyamata alatt a pH gyakorlatilag nem változott az érlelés végére. A húsipar számára minőségi szempontból fontos tényező a hús víztartó képességének változása. Az általam alkalmazott érlelési folyamat során az érlelési periódus 27. napján az apadási léveszteség értéke a kisebb illetve nagyobb érlelési hőmérsékleten sem haladta meg a 2,5 - 3%-ot.

A tökehúsok mikrobiológiai állapota élelmiszerbiztonsági szempontból nem elhanyagolható. Tapasztalataim szerint a marhahátszín esetében a kisebb hőmérséklettel a tejsavtermelő baktériumok mennyisége csökken. Az összes anaerob csíraszám az érlelés során nőtt, de a kisebb hőmérsékleten való érlelés során nem haladta meg a fogyaszthatósági határértéket, míg a nagyobb hőmérsékleten való érlelés során, a 15 napon átlépte a 10^6 összes élő csíraszámot.

A marhahús érlelése során lejátszódó folyamatok a hús további kezelhetőségére, technológiai viselkedésére is kihatnak. Ennek okán fontos volt feltérképezni a fő fehérjealkotók viselkedését az érlelési folyamat alatt. A vizsgálataimhoz SDS - PAGE módszert választottam, illetve a marhahátszín kalorimetrikus tulajdonságainak feltérképezéséhez a kalorimetrikus (DSC) mérést. A DSC módszer alkalmas a hús fehérjéinek denaturációs csúcshőmérsékletének megállapítására, valamint a denaturáció entalpiájának (ΔH) meghatározását teszi lehetővé, amely mennyiségi információt szolgáltat.

Az aktív ultrahang alkalmazásával az SDS-PAGE módszerrel kimutatható kisebb molekulatömegű fehérje frakciók számának emelkedése látható, amely a proteolitikus enzimszisztéma kiterjedését jelzi, az ultrahang roncsolta a membránszerkezetet, amelyen keresztül a fehérjéket bontó enzimek könnyebben felszabadultak.

Az SDS - PAGE módszerrel kimutatott fehérjék száma igazolja, hogy a 90 percen keresztül kezelt mintákban kimutatható fehérjék száma lecsökkent. Mivel a fehérjetartalom az érlelés során nem változott, a fehérjék egy része aggregálódott. Az érlelési napok előrehaladtával a dezimin (55 kDa) mennyisége csökken. A 9. naptól nem mutatható ki különbség a fehérje denzitogramok alapján. A magasabb hőmérsékleten érlelt minták esetében detektált fehérjék jelintenzitása magasabb értéket mutat, főleg a kisebb molekulatömegű (40 – 17 kDa) fehérjék esetében.

Az érési folyamat megítélésében célul tűztam ki a membránokon bekövetkező változások detektálását. A hús membránjainak áteresztőképessége az érlelés, tárolás során megváltozik. Méréseimmel igazoltam, hogy az ionkiáramlás sebességének vizsgálatával az érés alatt ez a

változás nyomonkövethető. Az alacsonyabb hőmérsékleten érlelt minták esetében a húsérés során az ionkiáramlás mennyisége nőtt, amely igazolja az érés alatt a membránok áteresztőképességének növekedését. Az magasabb hőmérsékleten érlelt minták membránpermeabilitása magasabb volt.

Méréseimmel igazoltam, hogy a 3 W/cm^2 intenzitású ultrahang alkalmazása során a marhahátszín membránjának ionkiáramlása megnő. Az alkalmazott ultrahangos kezelési idő növelésével arányosan emelkedik az ionkiáramlás mértéke is.

Az érlelési kísérletek során az állományváltozás detektálása kiemelkedő szerepet játszik. Kísérleteimmel igazoltam, hogy a kisebb hőmérsékletű érlelési körülmények között ($0 - 1^\circ\text{C}$ -on) a marhahús megfelelő porhanyósságának eléréséhez szükséges 14-17 nap. Az objektív állománymérés mellett szubjektív érzékszervi vizsgálatot is végeztem. A nagyobb hőmérsékletű ($+5^\circ\text{C}$) érlelés során a minták megfelelő állományának kialakulásához szükséges idő lerövidült körülbelül 7 - 8 napra. Igazoltam a fenti hőmérséklet tartományban a folyamat hőmérsékletfüggését. Ha a membránok post mortem állapotban károsodnak, akkor ezek az enzimek előbb a lizozómákból, majd a sejtmembrán károsodását követően a sejtből is kijuthatnak, és fehérjebontó hatásukat kifejtetik, ezáltal is elősegítve a porhanyósodás folyamatát. Az aktív ultrahang (3 W/cm^2) alkalmazásával a membránok egy része sérül, az ionkiáramlás mértéke megnő, ezzel nem csak mechanikailag segít a porhanyósodás folyamatában, hanem a megfelelő enzimek is kijuthatnak és puhítják a húst.

Az aktív ultrahang alkalmazása során olyan mechanikai hatások érik a kezelt mintát, amelynek során a membránrendszer sérül, ezáltal könnyítve a multikatalitikus enzimrendszer kiteljesedését. Ezen hatások elősegítik a porhanyósodási folyamatot, valamint a kialakuló mechanikai hullámok hatással vannak az izom szerkezetére is.

Összefoglalva igazoltam, hogy a 3 W/cm^2 intenzitású ultrahanggal való kezelés az állomány tulajdonságait kedvezően befolyásolta, amely alkalmas lehet üzemi körülmények közötti alkalmazásra is.

8 Summary

In the last four decades consumption of beef continuously decreased in Hungary, which was affected – among others - by the negative opinions about nutrition-physiological aspects of red meat. Tenderness is one of the most important quality attributes which determine the palatability of meat, that is influenced not only by the age of the animal but by the state of aging of meat, too.

Process of meat aging is the complexity of biochemical changes when characteristic taste and proper texture are developed as a result of the activity of proteolytic enzymes. Time needed for these processes is strongly time-dependant. In the last few years, by the change in the taste and demands of a certain group of consumers, and the barbecue parties coming into fashion, there is a growing market demand for aged beef. Use of aging technology is limited to certain regions of the carcass, which are suitable for aging. One of the most suitable types of beef for aging is striploin.

Food safety reasons require cooling of carcasses after slaughter, thus as a consequence aging technology has to be changed. Fresh meat can be stored for 7-8 days at 0-2 °C. Raising the temperature promotes multiplication of bacteria and shortens aging time.

In the present work aging experiments were carried out at 0 - 1°C (lower) and 5 °C (upper) temperature intervals with vacuum packed beef to fulfil food safety requirements. Aging in vacuum packaging is advantageous from more viewpoints. Any meat plant can easily implement it, because of easy handling, its good technological feasibility, and vacuum packaging ensures anaerobic conditions.

The aim of the present work was to study the effects of complex physical, chemical and biochemical processes during beef aging, to obtain deeper insight in the processes taking place, and to develop an aging technology which makes processing of aged beef easier and more rapid and can be implemented by meat processing plants. To reach this goal, I chose the investigation of active ultrasound which might be an aging technology safely realizable by meat plants.

Process of beef aging was examined in two temperature intervals during the aging experiments. Changes in color, pH, drip loss, texture and microbiological status were measured during aging. Calorimetric characteristics of striploin, evolution of the rate of ion efflux in the fibres and changes in the quantity and quality of detectable proteins were monitored. Processes during aging and the process of tenderizing were accelerated by active ultrasound.

Color is one of the most important quality attributes of meat influencing consumer acceptance. Changes in lightness (L^*), red-green hue (a^*) and blue-yellow hue (b^*) were detected during aging at the lower and higher aging temperatures. Aging process of meat can be well characterized by the

changes in pH after rigor mortis. During pH decrease the values change from the physiological pH of 7,2 to pH ,5-5,6. According to my findings pH of beef striploin practically didn't change by the end of aging. Change in the water holding capacity of meat is an important quality factor for the meat industry. During the used aging peocess, amount of drip loss didn't exceed 2,5 – 3 % by the 27th day after slaughter at neither of the aging temperatures.

Microbiological status of fresh meat can not be neglected by food safety viewpoint. Number of lactic acid producing bacteria decreased at the lower aging temperature. Total anaerobic cell count increased during aging, but it didn't exceed the food safety limit at the lower aging temperature while at the higher aging temperature 10^6 TVC was reached on the 15th day.

Processes occurring during aging of beef affect the technological behaviour of meat. Thus detection of the changes in the main protein fractions was very important. SDS-PAGE was used for this purpose. Calorimetric characteristics of striploin were monitored by DSC method. DSC measurements were performed to determine the peak temperature of protein denaturation of meat proteins and the enthalpy (ΔH) of denaturation that provides quantitative information.

Number of protein fractions decreased in samples treated for 90 min. Since protein content didn't change during aging, a part of the proteins aggregated and remained in the wells of the stacking gel. Amount desimin (55 kDa) decreased with the progress of aging days. According to the densitograms, no changes could be detected from the 9th day on. Color intensity of the protein bands of samples aged at higher temperature was higher mostly in case of low molecular weight (40 – 17 kDa) proteins.

After treatment with active ultrasound there was an increase in the number of low molecular weight protein fractions detected by SDS-PAGE, which shows the action of the proteolytic enzyme system. The ultrasound destroyed the membrane structure and thus protelytic enzymes could easily release.

In the assessment of aging processes changes in the membrane were detected. Permeability of the membrane changes during aging and storage. The measurements proved that this change could be monitored by the examination of the rate of ion efflux during aging. Amount of ion efflux in samples aged at lower temperature increased during aging that proved the increase in membrane permeability during aging. Membrane permeability of samples aged at higher temperature was higher, too.

The measurements proved that the use of 3 W/cm^2 ultrasound increased the ion efflux of beef striploin. Magnitude of ion efflux increased proportionally with the increase of treatment time.

Detection of textural changes played an important role during aging experiments. I proved that 14 – 17 days are needed to obtain proper tenderness of beef under low temperature (0 - 1°C) aging

conditions. Aging time necessary for the development of proper texture at higher aging temperature (+5 °C) shortened to 7 – 8 days. I proved the temperature-dependence of the process in the previously mentioned temperature range. If the membranes were injured in post mortem state, then enzymes were released first from the lysosomes then, after the injury of the cell membrane, from the cells themselves. These enzymes exerted proteolytic effect thus promoting the development of tenderness. By the application of active ultrasound (3 W/cm²) a part of the membrane was injured, rate of the ion efflux increased, thus not only a mechanical effect contributed to the tenderness but the appropriate enzymes were released and made meat more tender. Beside the objective texture analyses subjective organoleptic analysis was also performed. Results obtained by the two different methods correlated well. Organoleptic analysis is an important tool also in the assessment of consumer preference in Hungary.

During the use of active ultrasound such mechanical effects are exerted on the sample that injure the membrane system thus promoting the efficiency of the multicatalytical enzyme system. These effects contribute to the process of tenderization and the mechanical waves affect the muscle structure as well. In summary, I proved that treatment by 3 W/cm² intensity ultrasound favourably affected the texture of beef striploin and it may be introduced to meat plants as well.

9 Tézisek (új tudományos eredmények)

1. Megállapítottam, hogy a vákuumcsomagolásban érlelt marha hátszín + 5 °C-on való érlelése során a megfelelő állomány kialakulásához szükséges idő 8 nap. Ugyanezen állomány kialakulásához 0 - 1°C-on ennek kétszeresére van szükség.
2. Igazoltam, hogy a vákuumcsomagolásban 0 - 1°C-on illetve + 5 °C-on érlelt marha hátszín fehérje-összetételbeli változásai az érési folyamat során SDS-PAGE gélelektroforézis módszerrel detektálhatóak.
3. A 3 W/cm² intenzitású aktív ultrahang alkalmazása során a membránok szerkezete sérül, az ionkiáramlás mértéke megnő. Az alkalmazott ultrahangos kezelési idő növelésével arányosan emelkedik az ionkiáramlás mértéke is.
4. Megállapítottam, hogy az aktív ultrahanggal való kezelés, kedvező hatást fejt ki az állományváltozás mértékére az érlelési folyamatban. A 60 percen, 3 W/cm² intenzitással kezelt majd vákuumcsomagolásban 0 - 1°C-on érlelt marhahátszín mért keménységértékei a kontroll mintához képest harmadára csökkentek.
5. Megállapítottam, hogy a 90 percig 3 W/cm² intenzitású ultrahanggal kezelt minták esetében az SDS- PAGE módszerrel kimutatható fehérjék száma az érlelés végére a negyedére csökkent. Az SDS-page módszerrel kimutatható fehérjék jelintenzitása a + 5 °C-on, vákuumcsomagolásban érlelt marhahátszín esetében nagyobb.
6. Megállapítottam, hogy a vákuumcsomagolásban érlelt marhahátszín kalorimetrikus tulajdonságai 0 - 1°C - on illetve a + 5 °C-on való érlelés során nem változnak

10 Mellékletek

M1. Felhasznált irodalom

1. **Abbot, M. T., Pearson, A. M., Price, J. F., Hooper, G. R. (1977):** Ultrastructural changes during autolysis of red and white porcine muscle. *Journal of Food Science*, 42, 1185–1188.
2. **Ahnström M. L., Seyfert M., Hunt M. C., Johnson D. E. (2006):** Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour. *Meat Science*, Volume 73, Issue 4, Pages 674-679
3. **Akta, N., Aksu, M. I., Kaya, M., (2005):** Changes in myofibrillar proteins during processing of pastirma (Turkish dry meat product) produced with commercial starter cultures. *Food Chemistry*, Vol. 90, Issue 4, 649-654.p.
4. **Atchley, A. A., Crum, L. A. Suslick, S. K., (1988):** Acoustic Cavitation and Bubble Dynamics In ultrasound: Its Chemical, Physical and Biological Effects. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1-63. p.
5. **Baublits, R.T., Pohlman, F.W., Brown, A.H., Johnson, Jr., Z.B., (2005):** Effects of sodium chloride, phosphate type and concentration, and pump rate on beef biceps femoris quality and sensory characteristics. *Meat Science*, Volume 70, Issue 2, 205-214.p.
6. **Bekhit, A.E.D., Cassidy, L., Hurst, R.D., Farouk, M.M. (2007):** Post-mortem metmyoglobin reduction in fresh venison *Meat Science*, Volume 75, Issue 1, 53-60 p.
7. **Bekhit, A.E.D., Farouk, M.M., Cassidy, L., Gilbert, K.V., (2007a):** Effects of rigor temperature and electrical stimulation on venison quality. *Meat Science*, Volume 75, Issue 4, 564-574 p.
8. **Bérces, Gy., Tasnádi, P., Skrapits, L., (2003):** A fizika alapjai. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 18. p.
9. **Berge, P., Ertbjerg, P., Larsen, L. M., Astruc, T., Vignon, X., &Moller, A. J. (2001):** Tenderization of beef by lactic acid injected at different times post mortem. *Meat Science*, 57(4), 347–357 p.
10. **Berry B. W., Abraham H. C., (1996):** Sensory, shear force and cooking properties of commercially processed ground beef patties, *Food Quality and Preference*, Vol. 7, Pages 55-59
11. **Bíró, G., Bíró, Gy., (2000):** Élelmiszer- biztonság. Táplálkozás- egészségügy, Budapest, Agroinfo Kiadó.
12. **Boakye K., Mittal G. S.(1993):** Changes in pH and water holding properties of Longissimus dorsi muscle during beef ageing. *Meat Science*, Volume 34, Issue 3, Pages 335-349

13. **Bond, J.J., Warner, R.D., (2007):** Ion distribution and protein proteolysis affect water holding capacity of Longissimus thoracis et lumborum in meat of lamb subjected to antemortem exercise. *Meat Science*, Volume 75, Issue 3, 406-414.p.
14. **Brown, B., Goodman, J.E., (1971):** Ultrasons de Haute Intensité Applications Industrielles. Ed. Dunod, Paris.
15. **Budó, Á., Pócza, J. (1962):** Kísérleti Fizika. Tankönyvkiadó, Budapest, 319, 361. p.
16. **Cárcel, J. A., Benedito, J., Bon, J., Mulet, A. (2007a):** High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Science*. 76 (2007) 611–619. p.
17. **Cárcel, J. A., Benedito, J., Golás, Y., Niñoles, L., & Mulet, A., (2004):** Heat and mass transfer in high-power ultrasonics. In: Proceedings of the Second Innovative Foods Centre Conference, Sydney, Australia.
18. **Cárcel, J. A., Benedito, J., Rossello´ , C., Mulet, A. (2007):** Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, 78, 472–479.
19. **Castellano P., González C., Carduza F., Vignolo G., (2010):** Protective action of Lactobacillus curvatus CRL705 on vacuum-packaged raw beef. Effect on sensory and structural characteristics. *Meat Science*, Volume 85, Issue 3, Pages 394-401
20. **Cheftel, J. C., & Culioli, J. (1997):** Effects of high pressure on meat: a review. *Meat Science*, 46 (3), 211–236. p.
21. **Civille, G.V., Szczesniak, A.S., (1975):** Guidelines to training a texture profile panel. *Journal of Texture Studies*. 4. 204–223. p.
22. **Claeys E., Uytterhaegen L., Buts B., Demeyer D. (1995):** Quantification of beef myofibrillar proteins by SDS-PAGE. *Meat Science*, Volume 39, Issue 2, Pages 177-193
23. **Claus J.R, Schilling J.K, Marriott N.G, Duncan S.E, Solomon M.B, Wang H, (2001):** Tenderization of chicken and turkey breasts with electrically produced hydrodynamic shockwaves, *Meat Science*, Vol. 58, Issue 3, Pages 283-286
24. **Crum L., A. (1994):** Review of The Acoustic Bubble By T. G. Leighton. *Journal of Sound and Vibration*, Volume 174, Issue 5, 709-710.p.
25. **Damez, J.L., Clerjon, S., Abouelkaram, S., Lepetit, J. (2007):** Dielectric behavior of beef meat in the 1–1500 kHz range: Simulation with the Fricke/Cole–Cole model. *Meat Science*, Volume 77, Issue 4, 512-519.p.
26. **Davey, C. L., Dickson, D. R. (1970):** Studies in meat tenderness 8. Ultrastructural changes in meat during aging. *Journal of Food Science*, 35, 56–60.
27. **Deák, T., Farkas, J., Incze, K. (1980):** Konzerv-, hús- és hűtőipari mikrobiológia, Budapest, Mezőgazda kiadó, 53. p.

28. **Dergez, T., Könczöl, F., Kiss, M., Farkas, N., (2006):** DSC study on the motor protein myosin in fibre system. *Thermochimica Acta*, Vol. 445, Issue 2, 205-209.p.
29. **Destefanis, G., Brugiapaglia, A., Barge, M.T., Dal Molin, E., (2008):** Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner–Bratzler shear force. *Meat Science*, Volume 78, Issue 3, 153-156 p.
30. **Dickens, J. A., Lyon, C. E., & Wilson, R. L. (1991):** Effect of ultrasonic radiation on some physical characteristics of broiler breast muscle and cooked meat. *Poultry Science*, 70 (2), 389–396. p.
31. **Dióspatonyi, I.,(2001):** A húsfeldolgozás technológiája
<http://www.chemonet.hu/hun/food/technol/husipar/husipar.html>
32. **Dolatowski, Z. J. (1988):** Ultrasonics. 2- influence of ultrasonics on the ultrastructure of muscle tissue during curing. *Fleischwirtschaft*, 68, 1301±1303. p.
33. **Dolatowski, Z. J. (1989):** Ultraschall. 3. Einfluss von Ultraschall auf die Produktionstechnologie und Qualität von Kochschinken. *Die Fleischwirtschaft*, 69 (1), 106–111. p.
34. **Dutson, T. R., Pearson, A. M., Merkel, R. A. (1974):** Ultrastructural postmortem changes in normal and low quality porcine muscle fibers. *Journal of Food Science*, 39, 32–37.
35. **Eilers, J. D., Morgan, J. B., Martin, A. M., Miller, R. K., Hale, D. S., Acuff, G. R., (1994):** Evaluation of calcium chloride and lactic acid injection on chemical, microbiological and descriptive attributes of mature cow beef. *Meat Science*, 38 (3), 443–451. p.
36. **Flynn, H. G. (1964):** In *Physical Acoustics*, Vol. 1B, ed., Mason, W. P. Academic Press, New York, 57-172. p.
37. **Fry, F. J. (1978):** *Ultrasound: Its Application in Medicine and Biology*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York
38. **Gasztonyi, K. - Lásztity, R. (1993):** *Élelmiszer-kémia 2. Mezőgazda Kiadó. Bp.*
39. **Got, F., Culioli, J., Berge, P., Vignon, X., Astruc, T., Quideau, J. M., (1999):** Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef. *Meat Science*, 51 (1), 35–42. p.
40. **Gray, A.P. (1968):** *Analytical Calorimetry*, F. (Plenum Press, New York) 209. p.
41. **Gruzsál, E., (1974):** *Az állatok sejttei és szövetei Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*
42. **Gullett E. A., Battenham S., Hore T. (1996):** Effect of age and cut on consistency of tenderness and leanness of beef. *Food Quality and Preference*, Vol. 7, Issue 1, Pages 37-45
43. **Harkányi, Z. (1988):** *Ultrahang diagnosztika; MTA, Budapest, 38. p.*

44. **Hayward, L. H., Hunt, M. C., Kastner, C. L., Kropf, D. H. (1980):** Blade tenderization effects on beef longissimus sensory and Instron textural measurements. *Journal of Food Science*, 45 (4), 925–930, 935.p.
45. **Ho, C. Y., Stromer, M. H., Rouse, G., Robson, R. M. (1996):** Effect of electrical stimulation on postmortem titin, nebulin, desmin, troponin-T degradation and ultrastructural changes in bovine longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 74, 1563–1575.
46. **Hoffmann, K., Hamm, R. (1987):** Sulfhydryl and disulfide groups in meats. *Advances in Food Research*, Vol 24
47. **Hofmann, K. (1973):** Unterscheidung des Fleisches von Rind, Schwein, Hammel und Pferd mit Hilfe der Elektrophorese. *Jahresb. Bundesanstalt für Fleischforschung*, 67-68. p.
48. <http://fir.seismology.hu/foldrenges/alap/3hullamok.html>
49. http://kvhs.nbed.nb.ca/gallant/biology/protein_structure.html
50. <http://www.amc.edu.au/cavitation.tunnel/instrumentation>
51. <http://www.anatomyatlases.org>
52. **Huidobro R., Miguel F., Blázquez E., B., Onega, E. (2005):** A comparison between two methods (Warner–Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*, Volume 69, Issue 3, 527-536. p.
53. **Hwang I. H., Park B. Y., Cho S. H., Lee J. M. (2004):** Effects of muscle shortening and proteolysis on Warner–Bratzler shear force in beef *longissimus* and *semitendinosus*, *Meat Science*, Vol. 68, Pages 497-505
54. **Hwang, I. H., Devine, C. E., Hopkins, D. L. (2003):** The biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness. *Meat Science*, 65 (2), 677–691. p.
55. **Incze Z. (1996a):** A nyers hús színe és színtabilitása. *Húsipari Továbbképző Napok*, A nyers hús. 135-146. p.
56. **Incze, K. (1996):** A hús mikrobiológiája eltarthatósága, a mikrobaszámot csökkentő eljárások (felületkezelés). *Húsipari Továbbképző Napok*, A nyers hús. 50-58. p.
57. **Ingram, M., Dainty, R. H., (1971):** Changes caused by microbes in spoilage of meat. *Journal of Applied Bacteriology*, 34, 21–39. p.
58. **Insausti K., Beriain M. J., Purroy A., Alberti P., Lizaso L., Hernandez B. (1999):** Colour stability of beef from different Spanish native cattle breeds stored under vacuum and modified atmosphere. *Meat Science*, Volume 53, Issue 4, Pages 241-249

59. **Jayasooriya S.D., Torley P.J., D'Arcy B.R., Bhandari B.R.(2007):** Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. *Meat Science*, Volume 75, Issue 4, Pages 628-639
60. **Jung, S., Ghoul, M., de Lamballerie-Anton, M. (2000):** Changes in lysosomal enzyme activities and shear values of high pressure treated meat during ageing. *Meat Science*, Volume 56, Issue 3, 239-246.p.
61. **Karlson, P., (1972):** Biokémia, Medicina Könyvkiadó, Budapest
62. **Kolczak, T., Pospiech, E., Palka, K., Lacki, J. (2003):** Changes of myofibrillar and centrifugal drip proteins and shear force of psoas major and minor and semitendinosus muscles from calves, heifers and cows during post-mortem ageing. *Meat Science*, Vol. 64, Issue 1, 69-75.p.
63. **Koohmaraie, M. (1994):** Muscle proteinases and meat aging. *Meat Science*, 36 (1–2), 93–104.p.
64. **Koohmaraie, M. (1996):** Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, 43 (Supplement 1), 193-201. p.
65. **Kosáry, J., (2002):** A tárolás biokémiája 2. Élelmiszer-biokémia
66. **Kosáry, J., (2006):** A táplálkozás biokémiája
67. **Kóhidai, L. (2008):** Sejtmembrán szerkezete és működése
<http://www.chemotaxis.usn.hu/CHTXhpg/Sejtbiologia/Sejtmembran.ppt>
68. **Kropf D. H.,(1993):** Colour Stability-Factors affecting the colour of fresh meat. *Meat Focus International*, Pages 269-275
69. **KSH, (2003):** Élelmiszermérlegek és tápanyagfogyasztás, 1970-2001 Budapest,
70. **Kuttruff, H. (1991):** Ultrasonics Fundamentals and Applications. *Elsevier Applied Science*, London and New York.
71. **Kyriaki G. Z., Konstantinos P. K., Costas G. B. (2010):** Physical and thermo-mechanical properties of whey protein isolate films containing antimicrobials, and their effect against spoilage flora of fresh beef. *Food Hydrocolloids*, Volume 24, Issue 1, Pages 49-59
72. **Laemmli, U.K. (1970):** Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of Bacteriophage T4. *Nature*, 227. 680-685.p.
73. **Lametsch, R., Bendixen, E. (2001):** Proteome analysis applied to meat science: characterizing post mortem changes in porcine muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 4531–4537. p.
74. **Lásztity, R. (1981):** Az élelmiszer- biokémiai alapjai, Budapest, Mezőgazdasági Kiadó
75. **Lásztity, R., Törley, D. (1993):** Élelmiszer – kémia 2, Mezőgazda kiadó, Budapest

76. **Lawrie, R. A. (1998):** Lawrie's meat science. Cambridge, UK: Technomic Press.
77. **Ledward, D. A., Ma H.-J. (2004):** High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle. *Meat Science*, Volume 68, Issue 3, 347-355.p.
78. **Lee M.S., Apple J.K., Yancey J.W.S., Sawyer J.T., Johnson Z.B. (2008).** Influence of vacuum-aging period on bloom development of the beef gluteus medius from top sirloin butts. *Meat Science*, Volume 80, Issue 3, Pages 592-598
79. **Liu Y., Lyon B. G., Windham W. R., Realini C. E., T. Pringle D. D., Duckett S. (2003):** Prediction of color, texture, and sensory characteristics of beef steaks by visible and near infrared reflectance spectroscopy. A feasibility study . *Meat Science*, Volume 65, Issue 3, Pages 1107-1115
80. **Lovász, T., Merész, P., Sass, P. (1998):** Postharvest permeability changes of sell surface of apple tissue. *Acta Alimentaria*, Vol 27 (3), 207 – 219. p.
81. **Lőrincz, A. (2006):** Az aktív ultrahang alkalmazása napjainkban, Mosonmagyaróvár 19. p.
82. **Lőrincz, F., Lencsepeti, J. (1973):** Húsipari kézikönyv, Mezőgazdasági kiadó Budapest,
83. **Lőrinczy, D., Belágyi J. (1995):** Scanning calorimetric and EPR studies on the thermal stability of actin. *Thermochimica Acta*, Volume 259, Issue 1, 153-164. p.
84. **Lyng, J. G., Allen, P., McKenna, B. (1998a):** The effects of pre- and post-rigor high-intensity ultrasound treatment on aspects of lamb tenderness. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 31 (4), 334–338.p.
85. **Lyng, J. G., Allen, P., McKenna, B. M. (1997):** The influence of high intensity ultrasound baths on aspects of beef tenderness. *Journal of Muscle Foods*, 8 (3), 237–249.p.
86. **Lyng, J. G., Allen,P., McKenna, B.M. (1998b):** The effect on aspects of beef tenderness of pre- and post-rigor exposure to a high intensity ultrasound probe. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 78 (3), 308–314.p.
87. **Mason, T. J., Paniwnyk, L., Lorimer, J. P. (1996):** The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 3, 253–260.
88. **McClements, J D.(1995):** Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science &Technology*, 293-299.p.
89. **Mestre P. J. A., Fernando J. S., Garcia e C., António M. Ribeiro R., Correia A. A. D. (2002):** Contribution of major structural changes in myofibrils to rabbit meat, *Meat Science*, Vol. 61, Pages 103-113
90. **Miller, D. L. (1987):** A review of the ultrasonic bioeffectiveness of microsonation, gas-body activation, and related cavitation-like phenomena. *Ultrasound in Medicine & Biology.*, Vol. 13, 443-470.p.

91. **Monsón F., Sañudo C., Sierra I. (2005):** Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Science*, Volume 71, Issue 3, Pages 471-479
92. **Montgomery J. L., Parrish F. C. Jr., Olson D. G., Dickson J. S., Niebuhr S. (2003):** Storage and packaging effects on sensory and color characteristics of ground beef, *Meat Science*, Vol. 64, Pages 357-363.
93. **Morrissey, P. A., Fox, P. F. (1981):** Tenderisation of meat: a review. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 5 (1), 33–47.p.
94. **Nagaraj, NS, Anilakumar, KR, Santhanam, K (2005):** Postmortem changes in myofibrillar proteins of goat skeletal muscles. *Journal of Food Biochemistry*. Vol. 29 Issue. 2, 152-170. p.
95. **Nattress F. M., Jeremiah L. E. (2000):** Bacterial mediated off-flavours in retail-ready beef after storage in controlled atmospheres, *Food Research International*, Vol. 33, Pages 743-748
96. **Nelson, L. D.; Cox, M. M., (2000):** Lehninger Principles of Biochemistry (3rd ed.). Worth Publishers. ISBN1-57259-153-6.
97. **Neményi, M. – Lőrincz, A. (2000-2003):** Ultrahang akusztikai jelenségeinek koncentrációfüggése és ennek hatása a sejtroncsolásra. *Élelmiszerfizikai közlemények*. Vol. XIII – XIV – XV - XVI. pp. 41-56.
98. **Ouali, A., Demeyer, D. I., & Smulders, F. J., (Eds).(2001):** New technologies for meat and meat products, Muscle enzymology and meat ageing, Nijmegen: Audet Tijdschriften BV, pp. 163–179.
99. **Pietrasik, Z., Shand, P. J. (2003):** Effect of blade tenderization and tumbling time on the processing characteristics and tenderness of injected cooked roast beef, *Meat Science*, 871-879. p.
100. **Pohlman, F. W., Dikeman, M. E., Kropf, D. H. (1997a):** Effects of high intensity ultrasound treatment, storage time and cooking method on shear, sensory, instrumental color and cooking properties of packaged and unpackaged beef pectoralis muscle. *Meat Science*, 46(1), 89–100.p.
101. **Pohlman, F. W., Dikeman, M. E., Zayas, J. F. (1997b):** The effect of low-intensity ultrasound treatment on shear properties, color stability and shelf life of vacuum packaged beef semitendinosus and biceps femoris muscles. *Meat Science*, 45 (3), 329–337.p.
102. **Reynolds, J.B., Anderson, D.B., Schmidt, G.R., Theno, D.M., Siegel, D.G. (1978):** Effects of ultrasonic treatment on binding strength in cured ham rolls. *Journal of Food Science*. 43, 866±869.p.

103. **Robson, R. M., Huff-Lonergan, E., Parrish, F. C., Ho, C. Y., Stromer, M. H., Huiatt, T. W., et al. (1997):** Postmortem changes in the myofibrillar and cytoskeletal proteins in muscle. In Proceedings of the 50th annual reciprocal meat conference, Iowa, USA (pp. 43–52).
104. **Roncales, P., Ceña, P., Beltran, J. A., Jaime, I., (1992):** Ultrasonication of lamb skeletal muscle fibres enhances post mortem proteolysis. *38th International Congress of Meat Science and Technology*, Clermont-Ferrand, France 3, 411-414.p.
105. **Rosette, M. R.-M.,(2002):** Bioinorganic chemistry Washington Collage Chestertown, MD
106. Sajas, J. F., Gorbatow, W.M., (1978): Use of ultrasonics in meat technology. *Fleischwirtschaft*, 6, 1009±1012.p.
107. **Schnett-Abraham, I., Trommer, E., Levetzow, R. (1992):** Ultrasonics in sterilisation sinks. Applications of ultrasonics on equipment for cleaning and disinfection of knives at the workplace in slaughter and meat cutting plants. *Fleischwirtschaft*. Vol 72., 864-867.p.
108. **Sikes, A., Thornberg, E., Tune, R. (2010):** A proposed mechanism of tenderising post-rigor beef using high pressure–heat treatment. *Meat Science*, Volume 84, Issue 3, 390-399 p.
109. **Simal, S., Benedito, J., Sanchez, E. S., & Rossello, C. (1998):** Use of ultrasound to increase mass transfer rates during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 36, 323–336.
110. **Simões, J.A., Mendes, M.I., Lemos, J.P.C. (2005):** Selection of muscles as indicators of tenderness after seven days of ageing. *Meat Science*, Volume 69, Issue 4, 617-620.p.
111. **Siró, I., Vén, Cs., Balla, Cs., Jónás, G., Zeke, I., Friedrich, L. (2009):** Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *Journal of Food Engineering*, Volume 91, Issue 2, 353-362. p.
112. **Smith, N. B., Cannon, J. E., Novakofski, J. E., McKeith, F. K., O'Brien, W. D. (1991):** Tenderization of Semitendinosus muscle using high intensity ultrasound. *In Proceedings of the IEEE ultrasonics symposium*, Orlando, USA, 1371–1374.p.
113. **Solomon, M. B., Long, J. B., Eastridge, J. S. (1997):** The hydrodyne: a new process to improve beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 75 (6), 1534–1537.p.
114. **Soltanizadeh N., Kadivar M., Keramat J., Fazilati M. (2008):** Comparison of fresh beef and camel meat proteolysis during cold storage. *Meat Science*, Volume 80, Issue 3, Pages 892-895
115. **Sørheim, O., Idland, J., E. Halvorsen, C., Frøystein, T., Lea, P., K. Hildrum, I., (2001):** Influence of beef carcass stretching and chilling rate on tenderness of *m. longissimus dorsi*, *Meat Science*, Vol. 57, Pages 79-85
116. **Stefanovitsné, Bányai É., Duducz, Gy., Fehér, I., (2001):** Biokémiai alapismeretek, Jegyzet, Kémia és biokémia Tanszék, Budapest

117. **Stetzer, A.J., Cadwallader, K., Singh, T.K., Mckeith, F.K., Brewer, M.S., (2008):** Effect of enhancement and ageing on flavor and volatile compounds in various beef muscles. *Meat Science*, Volume 79, Issue 1, 13-19 p.
- Stojanovic, J., Silva, J. L. (2007):** Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbit eye blueberries. *Food Chemistry*, 101, 898–906.
118. **Szente, V., Szigeti, O., Szakály, Z. (2009):** Fogyasztói szokások és attitűdök II. - Vizsgálatok a marhahús és -készítmények piacán. <http://agrarunio.hu>
119. **Takács, J. (1971):** A sertéshús termelés vágóhídi és húshigiéniái problémái. *Magyar Állatorvosok lapja.*, 26, 275.p.
120. **Tar, F. (1982):** Ultrahangfizika. Kohó- és Gépipari Továbbképző és Módszertani Intézet, Budapest 23-27. p.
121. **Tarnóczy, T. (1963):** Ultrahangok. Akadémiai Kiadó, Budapest. 261. p.
122. **Taylor, R. G., Geesink, G. H., Thompson, V. F., Koohmaraie, M., Goll, D. E. (1995):** Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? *Journal of Animal Science*, 21, 1351–1367.
123. **Thorarinsdottir, K. A., Arason, S., Geirsdottir, M., S. Bogason, G., Kristbergsson, K. (2002):** Changes in myofibrillar proteins during processing of salted cod (*Gadus morhua*) as determined by electrophoresis and differential scanning calorimetry. *Food Chemistry*, Volume 77, Issue 3, 377-385.p.
124. **Tornberg, E. (2005):** Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, Volume 70, Issue 3, 493-508. p.
125. **Vadáné, Kovács M. (1996):** Porhanyósság és az azt befolyásoló tényezők. *Húsipari Továbbképző Napok*, A nyers hús. 125-135. p.
126. **Wackerbarth H., Kuhlmann U., Tintchev F., Heinz V., Hildebrandt P. (2009):** Structural changes of myoglobin in pressure-treated pork meat probed by resonance Raman spectroscopy, *Food Chemistry*, Vol. 115, Pages 1194-1198
127. **Závodszy, P. (2007):** Fehérjék - a szerkezettől a funkcióig, a fizikától a biológiáig. <http://www.mindentudas.hu>

M2. Érzékszervi bírálati lap
Bírálati lap

Dátum: 2008._____

Bíró neve: _____

A bíráló 5 pontot, a legrosszabb 1 a legjobb 5 pontot.

Rágósság szempontjából: _____ pont

Rágós
1

Omlós
5

Szárazság szempontjából: _____ pont

Száraz
1

Lédús (szaftos)
5

Íz szempontjából: _____ pont

Idegen íz érezhető
1

Jellegzetes marhahús íz
5

Keményesség szempontjából: _____ pont

Kemény
1

Puha
5

Összbenyomás, megjegyzés: _____

M3.-M7 Statisztikai elemzés eredményei

M3. Marhahátszín 0 - 1 °C-os és + 5 °C-os érlelése során mért pH eredmények páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoportközéértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

	1°C 1. nap	1°C 3. nap	1°C 7. nap	1°C 11. nap	1°C 14. nap	1°C 17. nap	1°C 21. nap	1°C 25. nap	1°C 27. nap	
1°C 1. nap										
1°C 3. nap	84,9									
1°C 7. nap	22,3	30,4								
1°C 11. nap	0,1	0,2	2,7							
1°C 14. nap	84,9	0,0	0,0	17,6						
1°C 17. nap	1,2	2,0	16,9	34,9	1,5					
1°C 21. nap	37,9	47,7	83,3	2,6	0,0	14,9				
1°C 25. nap	73,7	86,9	45,0	0,7	0,0	5,1	61,8			
1°C 27. nap	64,1	52,4	12,0	0,1	0,0	0,7	21,9	46,4		
5°C 1. nap		5°C 5. nap	5°C 8. nap	5°C 11. nap	5°C 13. nap	5°C 15. nap	5°C 18. nap	5°C 20. nap	5°C 22. nap	5°C 25. nap
5°C 1. nap										
5°C 5. nap	0,0									
5°C 8. nap	0,0	61,4								
5°C 11. nap	0,0	6,8	4,1							
5°C 13. nap	0,0	12,9	11,8	62,9						
5°C 15. nap	0,0	97,1	61,5	5,2	10,8					
5°C 18. nap	0,0	25,2	33,4	38,5	66,3	23,3				
5°C 20. nap	0,3	22,8	30,8	66,7	93,0	21,4	80,9			
5°C 22. nap	0,0	51,1	79,6	11,6	25,3	50,5	51,8	44,2		
5°C 25. nap	26,5	0,1	0,0	1,8	0,5	0,0	0,3	3,0	0,0	

Megjegyzés: 0-5 % : szignifikáns különbség, 95-100% : statisztikailag igazolt azonosság

M4. Marhahátszín 0 - 1 °C-os és + 5 °C-os érlelése során mért L* eredmények páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoportközépértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

	1°C 1. nap	1°C 3. nap	1°C 7. nap	1°C 11. nap	1°C 14. nap	1°C 17. nap	1°C 21. nap	1°C 25. nap	1°C 27. nap
1°C 1. nap									
1°C 3. nap	0,0								
1°C 7. nap	0,0	0,0							
1°C 11. nap	0,0	0,0	6,5						
1°C 14. nap	0,0	0,0	5,9	97,7					
1°C 17. nap	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1				
1°C 21. nap	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	80,8			
1°C 25. nap	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	8,6		
1°C 27. nap	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	21,9	46,4	
5°C 1. nap									
5°C 5. nap	25,0								
5°C 8. nap	0,0	0,0							
5°C 11. nap	6,8	50,1	0,1						
5°C 13. nap	9,5	63,5	0,0	80,3					
5°C 15. nap	0,0	0,1	62,1	0,1	0,0				
5°C 18. nap	0,0	0,0	8,2	0,0	0,0	1,9			
5°C 20. nap	0,1	2,0	20,1	4,5	2,3	36,3	0,4		
5°C 22. nap	0,0	0,0	96,6	0,0	0,0	54,2	5,9	14,8	
5°C 25. nap	0,0	0,5	17,5	0,8	0,3	36,8	0,1	84,3	10,4

Megjegyzés: 0-5% : szignifikáns különbség, 95-100% : statisztikailag igazolt azonosság

M5. Marhahátszín 0 - 1 °C-os és + 5 °C-os érlelése során mért a* eredmények páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoportközépértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

	1°C 1. nap	1°C 3. nap	1°C 7. nap	1°C 11. nap	1°C 14. nap	1°C 17. nap	1°C 21. nap	1°C 25. nap	1°C 27. nap	
1°C 1. nap										
1°C 3. nap	0,0									
1°C 7. nap	0,0	0,0								
1°C 11. nap	0,0	0,0	0,0							
1°C 14. nap	0,0	0,0	0,0	22,7						
1°C 17. nap	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
1°C 21. nap	0,0	0,0	68,8	0,0	0,0	0,0				
1°C 25. nap	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0			
1°C 27. nap	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,9	0,0		
5°C 1. nap		5°C 5. nap	5°C 8. nap	5°C 11. nap	5°C 13. nap	5°C 15. nap	5°C 18. nap	5°C 20. nap	5°C 22. nap	5°C 25. nap
5°C 1. nap										
5°C 5. nap	0,2									
5°C 8. nap	0,0	12,6								
5°C 11. nap	0,1	80,2	3,0							
5°C 13. nap	0,0	0,2	4,4	0,0						
5°C 15. nap	0,0	23,7	58,7	7,0	0,7					
5°C 18. nap	0,0	7,4	73,0	1,4	10,4	36,8				
5°C 20. nap	0,0	73,5	16,9	48,6	0,1	33,3	9,4			
5°C 22. nap	0,0	88,6	5,3	60,0	0,0	12,9	2,3	77,8		
5°C 25. nap	69,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Megjegyzés: 0-5 % :szignifikáns különbség, 95-100% : statisztikailag igazolt azonosság

M6. Marhahátszín 0 - 1 °C-os és + 5 °C-os érlelése során mért b* eredmények páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoportközépértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

	1°C 1. nap	1°C 3. nap	1°C 7. nap	1°C 11. nap	1°C 14. nap	1°C 17. nap	1°C 21. nap	1°C 25. nap	1°C 27. nap	
1°C 1. nap										
1°C 3. nap	0,000									
1°C 7. nap	0,000	0,000								
1°C 11. nap	0,000	0,000	0,000							
1°C 14. nap	0,000	0,000	0,000	4,671						
1°C 17. nap	0,000	0,000	0,000	0,041	0,000					
1°C 21. nap	0,000	0,000	0,000	0,735	48,752	0,000				
1°C 25. nap	0,000	0,000	89,958	0,000	0,000	0,000	0,000			
1°C 27. nap	0,000	0,000	1,616	0,000	0,000	0,000	0,000	1,138		
5°C 1. nap										
5°C 5. nap	2,620									
5°C 8. nap	0,822	83,709								
5°C 11. nap	8,197	38,640	18,659							
5°C 13. nap	0,000	0,000	0,000	0,000						
5°C 15. nap	0,412	69,513	82,129	10,108	0,000					
5°C 18. nap	0,000	0,000	0,000	0,000	58,927	0,000				
5°C 20. nap	2,079	90,991	70,522	38,311	0,000	53,913	0,000			
5°C 22. nap	0,000	0,000	0,000	0,000	56,083	0,000	24,217	0,000		
5°C 25. nap	0,000	0,085	0,004	0,000	1,315	0,002	0,239	0,003	2,802	

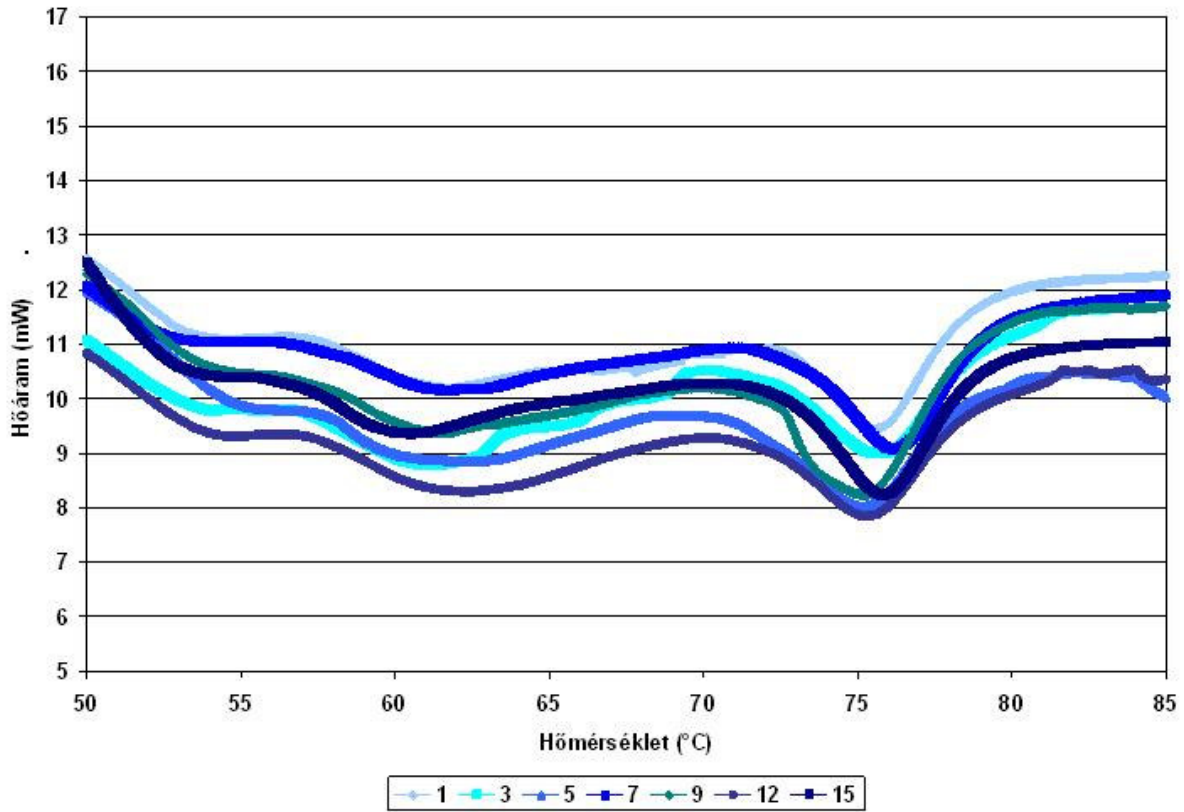
Megjegyzés: 0-5 % :szignifikáns különbség, 95-100% : statisztikailag igazolt azonosság

M7. Marhahátszín 0 - 1 °C-os és + 5 °C-os érlelése során mért F (N) keménység eredmények páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoportközéptételek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

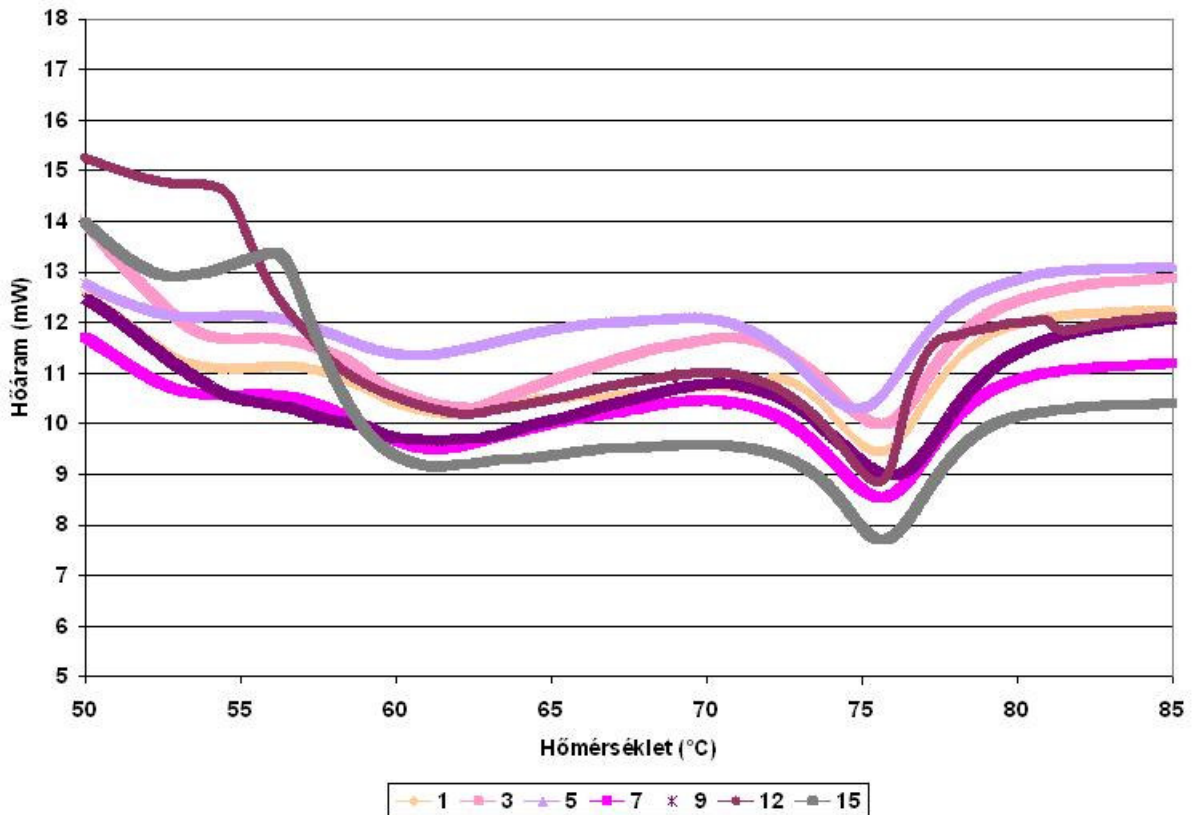
	1°C 1. nap	1°C 3. nap	1°C 7. nap	1°C 11. nap	1°C 14. nap	1°C 17. nap	1°C 21. nap	1°C 25. nap	1°C 27. nap	
1°C 1. nap										
1°C 3. nap	10,81									
1°C 7. nap	29,39	60,78								
1°C 11. nap	29,42	57,22	97,29							
1°C 14. nap	10,24	97,90	58,99	55,43						
1°C 17. nap	0,13	3,48	1,46	1,23	3,64					
1°C 21. nap	85,55	7,27	21,87	21,66	6,86	0,08				
1°C 25. nap	14,64	0,25	1,47	1,30	0,23	0,00	20,06			
1°C 27. nap	0,97	32,56	14,19	12,09	33,87	15,27	0,55	0,01		
5°C 1. nap		5°C 5. nap	5°C 8. nap	5°C 11. nap	5°C 13. nap	5°C 15. nap	5°C 18. nap	5°C 20. nap	5°C 22. nap	5°C 25. nap
5°C 1. nap										
5°C 5. nap	46,51									
5°C 8. nap	0,00	0,00								
5°C 11. nap	0,00	0,00	57,85							
5°C 13. nap	0,00	0,00	59,54	28,81						
5°C 15. nap	0,00	0,08	2,59	0,52	11,31					
5°C 18. nap	0,00	0,00	48,65	20,47	90,63	11,12				
5°C 20. nap	0,00	0,01	39,54	18,00	72,86	27,54	79,50			
5°C 22. nap	0,00	0,01	12,89	3,76	36,09	47,99	38,79	63,21		
5°C 25. nap	0,09	1,08	1,10	0,23	5,02	57,36	4,77	13,63	23,57	

Megjegyzés: 0-5 % :szignifikáns különbség, 95-100% : statisztikailag igazolt azonosság

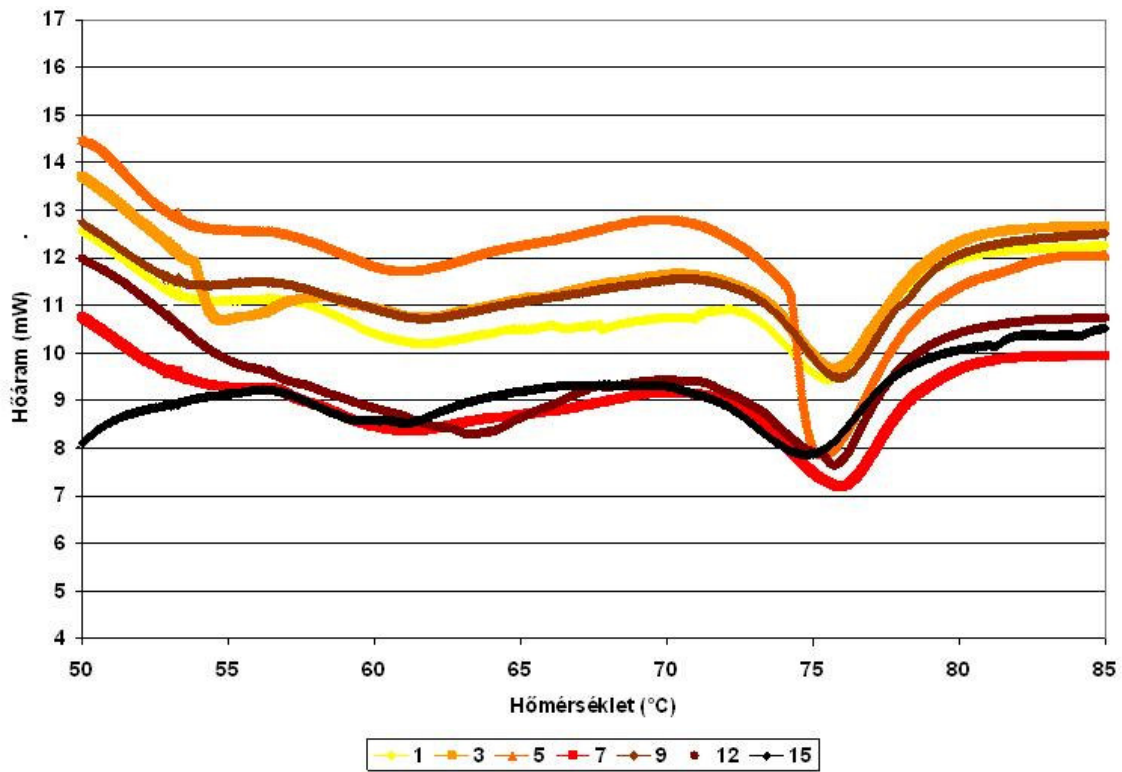
M8. A marhahátszín termogrammjainak alakulása a DSC mérések során



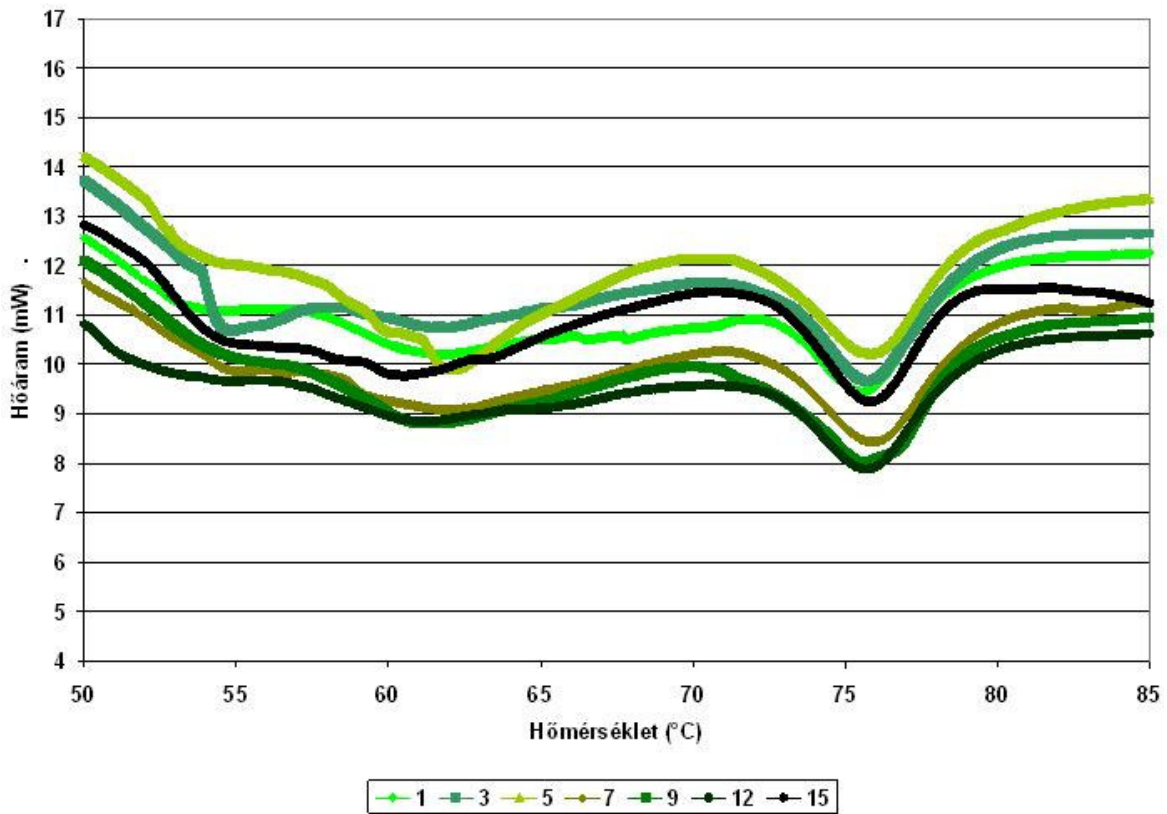
1. ábra A marhahátszín termogrammjai a 0-1°C -os érlelés során



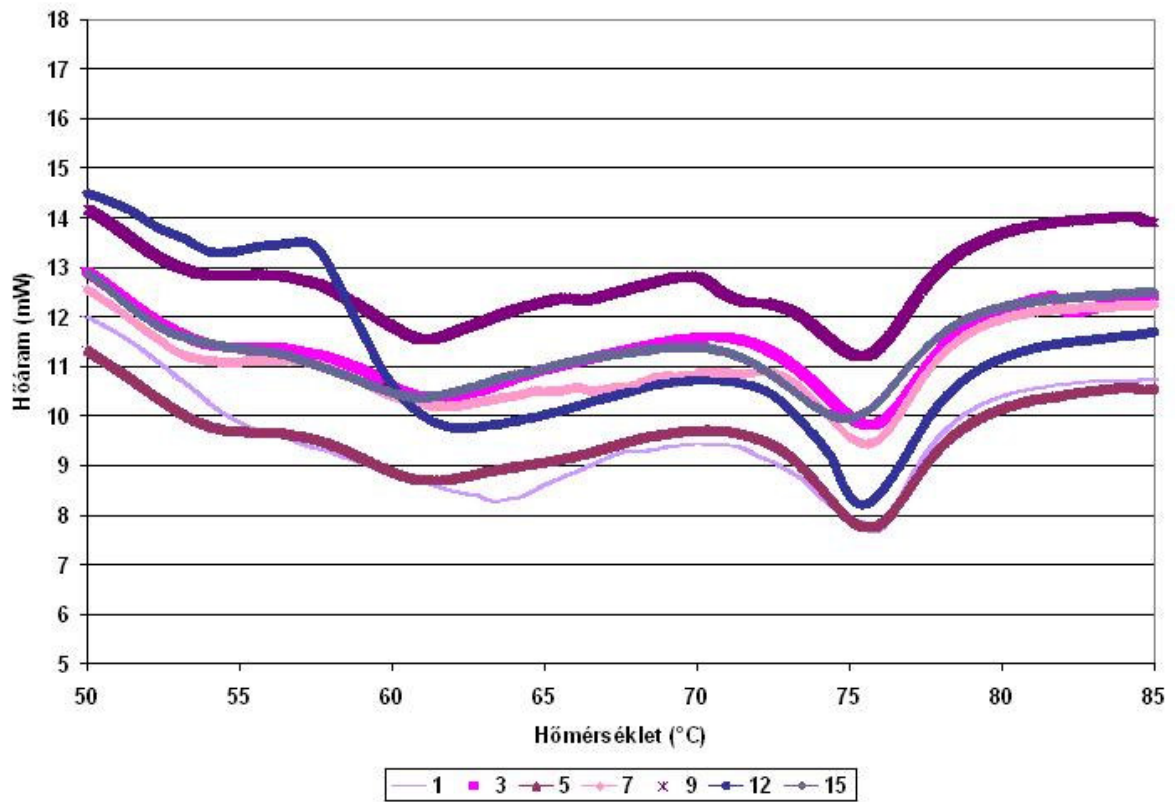
2. ábra A marhahátszín termogrammjai a + 5 C-os érlelés során



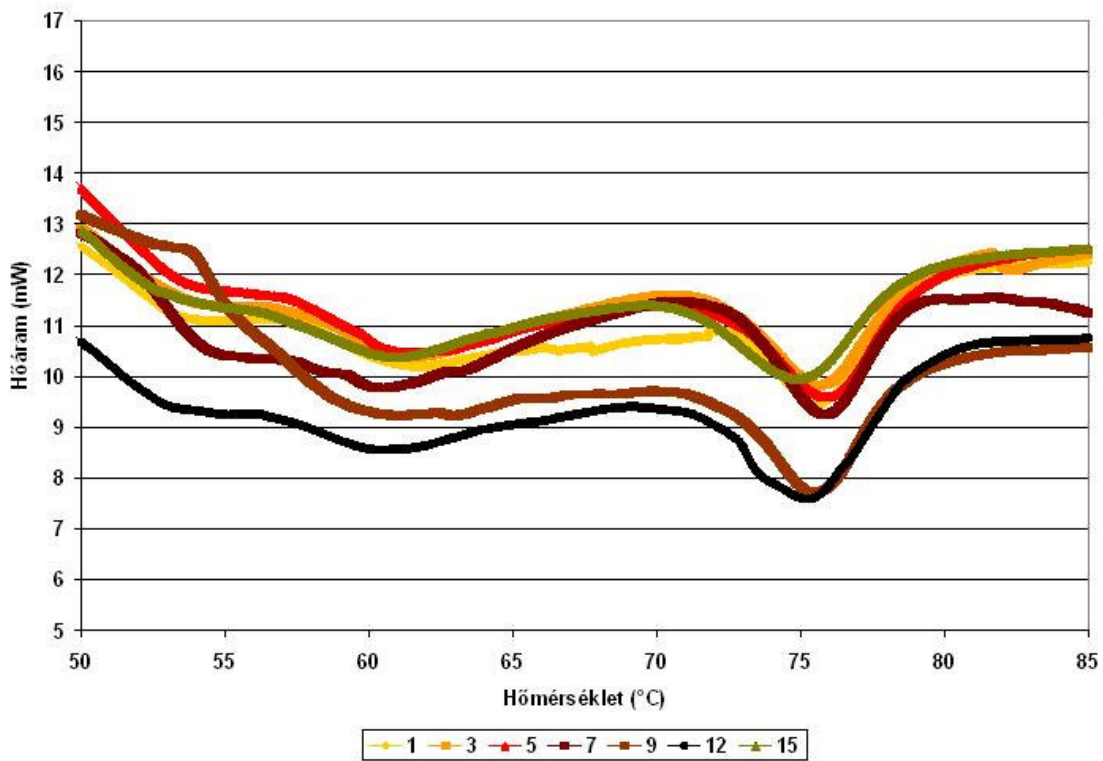
3. ábra A 0-1°C - on érlelt 60 percig ultrahanggal kezelt marhahátszín termogrammjai az érlelés során



4. ábra A +5°C - on érlelt 60 percig ultrahanggal kezelt marhahátszín termogrammjai



5. ábra A 0 - 1°C - on érlelt 90 percig ultrahanggal kezelt marhahátszín termogrammjai



6. ábra A +5°C - on érlelt 90 percig ultrahanggal kezelt marhahátszín termogrammjai

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani:

Dr. Balla Csabának a türelméért és témavezetői munkájáért, Dr. Friedrich Lászlónak, Dr. Dalmadi Istvánnak, Dr. Magyarné Horváth Kingának Zeke Ildikónak és Jónás Gábornak a műszaki segítségükért és tanácsaikért, Merész Péternek és Balázs Gábornak a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék dolgozóinak Dr. Juhász Rékának és Jakab Dávidnak a Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar Konzervtechnológiai Tanszék dolgozóinak, Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszék összes dolgozójának.

Családomnak barátaimnak és kollegáimnak, akik türelmükkel és fáradozásukkal támogattak, valamint

Mindenkinek, aki segítette doktori értekezésem elkészítését!