

SZAKDOLGOZAT

KÜRTI_ÁRON_SZAKDOLGOZAT

Kürti Áron Herkules

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Budai Campus
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Alapképzési szak

UV megvilágítás hatásának vizsgálata állati eredetű élelmiszerek tulajdonságaira

Belső konzulensek:

Dr. Jónás Gábor
Egyetemi docens

Dr. Kiskó Gabriella
Egyetemi tanár

**Belső konzulensek
intézete/tanszéke:**

Élelmiszertudományi és
Technológiai Intézet

Készítette:

Kürti Áron Herkules

Budapest

2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	3
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. Az állati eredetű élelmiszerek romlása.....	5
2.1.1. Mikrobiológiai romlás.....	5
2.1.2. Kémiai vagy biokémiai romlás	7
2.1.3. Fizikai romlás.....	8
2.2. Fizikai tartósítási módszerek.....	9
2.2.1. Hőelvonás.....	9
2.2.2. Hőkezelés	10
2.2.3. Vízelvonás	11
2.2.4. Besugárzás.....	12
2.3. Az elektromágneses sugárzás (röntgen-UV-látható fény-infravörös tartományok)	13
2.4. Az UV fény előállítása és tartományai (UVA, UVB, UVC)	15
2.5. Az UV sugárzás hatásmechanizmusa a mikroorganizmusokra	16
2.6. Az UV sugárzás hatása a húsok minőségi jellemzőire.....	18
2.6.1. pH.....	18
2.6.2. Szín.....	18
2.6.3. Avasodás.....	19
2.6.4. Fehérje oxidáció	20
2.6.5. Érzékszervi jellemzők	21
3. Alkalmazott módszerek.....	23
3.1 A far UVC berendezés.....	23
3.2. A mikrobiológiai jellemzők változásának vizsgálata	23
3.2.1. Táptalaj felületére oltott baktérium UV kezelése (<i>Pseudomonas</i> , <i>Listeria</i> , <i>Salmonella</i>).....	23
3.2.2. Táptalaj felületére oltott baktérium UV kezelése (<i>Salmonella</i>)	25
3.2.3. Állati eredetű termék felületére oltott baktérium UV kezelése (<i>Salmonella</i>)	25
3.3. A minőségi jellemzők változásának vizsgálata	27
3.3.1. PH mérés	27
3.3.2. Színmérés	28
3.1.3. Avasodás mérése.....	28
4. Eredmények és értékelésük	31
4.1. A mikrobiológiai jellemzők változásának vizsgálata	31

4.1.1. Táptalaj felületére oltott baktérium UV kezelése (<i>Pseudomonas</i> , <i>Listeria</i> , <i>Salmonella</i>).....	31
4.1.2. Táptalajra felületére oltott baktérium UV kezelése (<i>Salmonella</i>)	32
4.2.3. Állati eredetű termék felületére oltott baktérium UV kezelése (<i>Salmonella</i>)	33
4.2. A minőségi jellemzők változásának vizsgálata	34
4.2.1. pH mérés	34
4.2.2. Színmérés	35
4.2.3. Avasodás mérése.....	38
5. Következtetések és javaslatok	40
6. Összefoglalás.....	42
7. Irodalmi hivatkozás	44
8. Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	49
8.1. Táblázatjegyzék.....	49
8.2. Ábrajegyzék	50
9. Köszönetnyilvánítás	51

1. Bevezetés és célkitűzések

Az állattermékek fogyasztás évezredek óta jelen van az emberek életében, azonban ahogy minden más is, az élelmiszeripar is folyamatos fejlődésben van, amely új eljárások felfedezését és új veszélyek felismerését vonja magával. Ezekre a veszélyekre újabb és újabb megoldások kerülnek bevezetésre, ez azonban nem azt jelenti, hogy minden probléma rögtön megoldható.

Az állati termékek magas vízakтивitásuknak és összetett biokémiai szerkezetüknek köszönhetően rendkívül romlékony termékeknek tekinthetők, különösen érzékenyek mikrobiális romlásra, amelynek következtében érdemes őket minden esetben hűtött környezetben tárolni és csomagolás nélkül néhány napon belül felhasználni. Ez a rövid eltarthatósági idő az, amely az állattermékek kezelését különösen kényessé teszi és felveti a kérdést: hogyan tudnánk a lehető legbiztonságosabbá és hosszabban eltarthatóvá tenni ezeket a termékeket?

Erre a kérdésre az évek során felvetett rengeteg válasz közül egy az állattermékek nagy energiájú sugárzással való kezelése, amelynek egyik alkategóriája az UV sugárzás használata, ezen belül is az UVC tartományba eső úgynevezett far UVC, amely a látható fénynél magasabb frekvenciájú sugárzás. Ezek a sugarak képesek elegendő energiát hordozni mikrobák elpusztításához, azonban a röntgen- és gammasugárzással szemben jelentősen kisebb veszélyt jelent.

Nem elegendő azonban a feladat ellátására, hogy feltételezhetően képes elpusztítani a mikrobákat az élelmiszerek felületéről, számos más kritériumnak is meg kell felelnie, például, hogy sem közvetett, sem pedig közvetlen módon ne legyen veszélyes az emberekre, ne okozza egészségre káros vegyületek kialakulását / felszabadulását. Ezen felül használata nem járhat kellemetlen érzékszervi tulajdonságok (szín, szag, íz, állomány) kialakulásával és a termék beltartalmát sem ronthatja. Ennyi kritériumnak maradéktalanul megfelelni nem egyszerű feladat, ezért minden esetben vizsgálatok szükségesek mielőtt a gyakorlatban is alkalmazható lenne.

Szakedolgozatom témája a far UVC kezelések hatásának vizsgálata mikrobiológiai és minőségi tulajdonságok szempontjából friss hús esetében.

Szakdolgozatom közvetlen célkitűzései az alábbiak:

- Milyen paraméterek befolyásolják az UV kezelés hatékonyságát (idő-intenzitás)?
- Milyen élelmiszeripari szempontból kockázatos mikrobák esetén használható eredményesen a far UVC kezelés?
- A far UVC fényforrástól mért távolság és a megvilágítási időtartam milyen hatással van a táptalajra oltott mikrobák számának változására?
- Van-e hatása a mikrobák leoltására használt tápközegnek (táptalaj vagy hús) a mikrobaszám változására?
- Milyen hatása van a csirkehús főbb minőségi mutatóira és eltarthatósági idejére nézve a far UVC kezelésnek?

A mikrobiológiai és minőségi mutatók eredményei alapján célom meghatározni az optimális kezelési idő és fényforrástól mért távolság kombinációt.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Az állati eredetű élelmiszerek romlása

Az állati eredetű élelmiszerek alatt általánosságban az egyes állattípusok húsát, bizonyos emlőssálatok anyatejét és baromfik esetén a tojást tartjuk legfontosabbnak. Emellett számos jól hasznosítható, étkezésre szánt, például sertés vér, zsír és bél és számos nem étkezésre szánt melléktermék, így például baromfi tollazat, sertés bőr és egyéb termékek is keletkeznek az állatok vágása és feldolgozása során. Romlás szempontjából ezek közül legfontosabb a fogyasztásra szántakat vizsgálni, ugyanis ezek minőségének csökkenése vezethet a legjelentősebb következményhez az emberi egészségre nézve, nem megfelelő odafigyelés mellett akár életveszély forrásai is lehetnek. Ezen folyamatok a fehérjék, zsírok és szénhidrátok bomlása által eltéréshez vezetnek a termék táplálkozásfiziológiai és érzékszervi jellemzőiben, így például a megszokottól eltérő ízhez és szaghoz, húsok esetén pedig ezen felül még látható és tapintható nyálkaréteg kialakításához vezethetnek. Ezek a változások a termék fogyaszthatóságát megkérdőjelezhetővé teszik. Az állatitermékek romlásának három nagy csoportja különböztethető meg: mikrobiológiai, kémiai, és fizikai (Mutwakil, 2011).

2.1.1. Mikrobiológiai romlás

A mikrobiológiai romlás az állati termékek esetén egy nagyon jelentős és jellemző folyamat, amelyért termékcsopontonként eltérő mikrobák felelősek. A hús vágása utáni mikróbaszám átlagosan 10^2 - 10^3 TKE/g értékre tehető (Borch, Kant-Muermans and Blixt, 1996), azonban ez az idő múlásával és esetleges külső szennyezés mellett jelentősen megnövekedhet. A maximális határérték nagyban függ a termék jellegétől. Eleinte a cukrok mikrobiális bomlása következtében a hús érzékszervi jellemzőiben (szín, szag) érzékelhető változásokat tapasztalunk, 10^8 TKE/cm² érték fölött pedig először a nyálkaréteg kialakulása kezdődik meg, majd különösen magas értéknél a hús alkotóinak protolízise is megindul, amely még intenzívebb eltérésekhez vezet a várt jelleghez képest (Gill, 1983).

A húsok esetén a leggyakrabban előforduló mikroba csoportok az Enterobacteriaceae, Acinetobacter, Pseudomonas, Brochothrix, Flavobacterium, Psychrobacter, Moraxella, Staphylococcus és Micrococcus, továbbá egyes tejsavbaktériumok (Doulgeraki *et al.*, 2012). Ez tehát azt jelenti, hogy az ilyen romlási folyamatokért az ismert mikrobák mindössze töredéke felelős és általánosságban jól beazonosítható, hogy mely csoportok ezek. Nagyrészt a felsorolt csoportok felelősek a romlott jelleg kialakításáért, ugyanis a mikrobiális romláshoz szükséges belső paraméterek; szabadvíz tartalom (az élelmiszerben található víz, amely könnyen reagál,

mechanikailag kötődik a kiindulási közeghez, minél nagyobb a mennyisége, annál jobb táptalajt biztosít a termék a mikrobák számára), pH (a közeg kémhatása, mikrobánként eltérő az optimális pH, egyes mikrobák inkább a savas közeget kedvelik, például a tejsavbaktériumok, egyes mikrobák pedig inkább a semleges/lúgos közeg), tápanyag tartalom (azon tápanyagok összetétele és mennyisége, amely a mikrobák életműködéséhez és szaporodásához szükséges) ezen mikroba csoportoknak felel meg legjobban (Wang *et al.*, 2023).

Befolyásoló hatással van továbbá a megjelenő mikrobák fajtájára számos külső tényező is, például az oxigén jelenléte (az oxigén jelenléte obligát aerob mikrobáknak kedvez, obligát anaerob mikrobák esetén azonban kifejezetten toxikus) (1. táblázat). Ezt a paramétert leghatékonyabban a csomagolás segítségével tudjuk befolyásolni, vákuumcsomagolással szinte teljesen kizárható az oxigén jelenléte, ezzel megakadályozva az aerob baktériumok életműködését, MAP (módosított atmoszférás csomagolás) használatával pedig a nitrogén, oxigén és szén-dioxid összetételt befolyásolva, amellyel szintén nagyon hatékonyan megakadályozható bizonyos mikrobák életműködése. Fontos azonban figyelembe venni azt is ilyen csomagolás esetén, hogy az esetleges atmoszféra rossz hatással lehet a termékek érzékszervi jellegére, ezáltal érdemes olyan közeget választani amely a legideálisabb mikroba-közeg eredményezi (Casaburi *et al.*, 2015).

1. táblázat Egyes baktériumtörzsek életműködése eltérő csomagolás mellett (forrás: Casaburi *et al.*, 2015)

Gram-positive	Storage conditions			Gram-negative	Storage conditions		
	Air	MAP	VP		Air	MAP	VP
<i>Bacillus</i>	+		+	<i>Achromobacter</i>	+		
<i>Brochothrix</i>	+	+	+	<i>Acinetobacter</i>	+	+	+
<i>Carnobacterium</i>	+	+	+	<i>Aeromonas</i>	+		+
<i>Corynebacterium</i>	+			<i>Alcaligenes</i>	+	+	+
<i>Clostridium</i>			+	<i>Alteromonas</i>	+	+	+
<i>Enterococcus</i>	+	+		<i>Campylobacter</i>	+		
<i>Kocuria</i>	+			<i>Chromobacterium</i>	+		
<i>Kurthia</i>	+			<i>Citrobacter</i>	+	+	
<i>Lactobacillus</i>	+	+	+	<i>Enterobacter</i>	+	+	
<i>Lactococcus</i>	+			<i>Escherichia</i>	+		
<i>Leuconostoc</i>	+	+	+	<i>Flavobacterium</i>	+		
<i>Listeria</i>	+	+		<i>Hafnia</i>	+	+	+
<i>Microbacterium</i>	+	+	+	<i>Klebsiella</i>	+		
<i>Micrococcus</i>	+	+		<i>Kluyvera</i>	+		
<i>Paenibacillus</i>	+			<i>Moraxella</i>	+		
<i>Staphylococcus</i>	+	+	+	<i>Pantoea</i>	+		+
<i>Streptococcus</i>	+	+		<i>Proteus</i>	+	+	
<i>Weissella</i>	+	+	+	<i>Providencia</i>	+	+	+
				<i>Pseudomonas</i>	+	+	+
				<i>Serratia</i>	+	+	+
				<i>Shewanella</i>	+		
				<i>Vibrio</i>	+		
				<i>Yersinia</i>	+		+
				<i>Moraxella</i>	+		

Nagyon fontos külső tényező a mikrobiális romlás szempontjából a tárolási hőmérséklet is, ugyanis a különböző mikroba csoportok eltérő hőmérsékleti optimummal, minimummal, és maximummal rendelkeznek, amelyet a 2. táblázat is jól mutat:

2. táblázat Egyes mikroba csoportok hőmérsékleti jellemzői (forrás: <http://www.maso-international.cz/wp-content/uploads/2013/08/maso-international-2012-2-page-003-010.pdf>)

Microbial group	Minimum temperature (°C)	Optimal temperatures (°C)	Maximum temperature (°C)
psychrophilic	-12	5 – 15	20
psychrotrophic	-8	20 – 25	35
mesophilic	5	30 – 45	50
thermophilic	35	45 – 60	70
extremely thermophilic	70	85 – 90	100

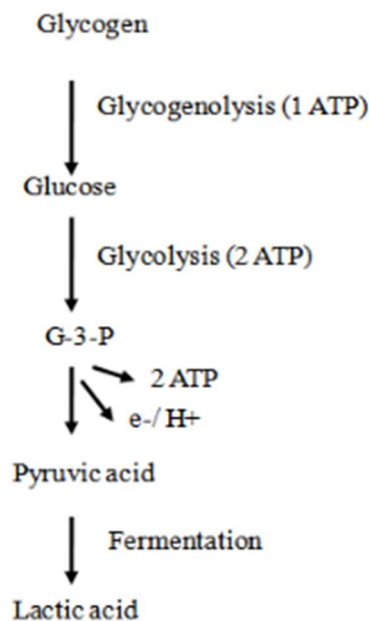
2.1.2. Kémiai vagy biokémiai romlás

A kémiai romlás egyik fajtája a húspanban található zsírok oxidációja, amely a keringés leállásakor következik be. Történhet enzimatis és nem enzimatis úton is. Ezen folyamat során a húspanban található zsírsavak reagálnak oxigénnel egy három lépéses folyamat által (megindítás, szaporítás, megszüntetés), melynek során szabad gyökök keletkeznek, amelyek további zsírsavakat vonnak be a reakcióba, majd végül egymással reagálva nem reakcióképes vegyületeket hoznak létre. A folyamatot számos tényező befolyásolja, így például a zsírsav összetétel és antioxidánsok jelenléte. Következménye számos melléktermék képződése, amelyek negatív hatással vannak a hús minőségére és a fogyasztóra nézve egészségkárosítóak lehetnek (Mutwakil, 2011).

A zsírok oxidációján kívül számos egyéb autolitikus enzimatis bomlási folyamat is lezajlik, melyek során a nagyobb szerves vegyületek kisebb egységeikre esnek szét. Ezek post mortem állapotban természetesen lezajló folyamatok, amelyek a hús önálló bomlásához vezetnek. Ezek közül egy kiemelkedő fontosságú folyamat a fehérjék autolízise, amely során kalpain, katepszin és aminopeptidáz enzimek bontják a fehérje szerkezetet, ezzel íz- és textúrabeli változásokat előidézve a húspanban (Mutwakil, 2011).

A kémiai romlási folyamatok egy része a vágás előtt történő stresszhatással köthető össze, ugyanis az izmokban található glikogén mennyisége stressz hatására csökken, mivel bomlik, amely a hús pH értékének megváltozását eredményezi. A glikogén bomlása során tejsav keletkezik, az 1. ábrán látható folyamat következtében (Mutwakil, 2011).

1. ábra A glikogén bomlása (forrás: Mutwakil, 2011)



Ha ez megfelelő ütemben történik normál pH-jú húst eredményez (sertés hús esetén 5,7-5,9), ha azonban vágás előtt rövid ideig tartó stressz éri az állatot, attól a tejsav képződése nagyobb ütemben történik, így a pH alacsony értékre (5,2-5,3, vagy ennél alacsonyabb) csökken, ha az állatot hosszan tartó stresszhatás éri, sokkal kevesebb tejsav keletkezik, amely következtében a pH sokkal közelebb marad a semleges tartományhoz (6,7-6,9), (Gill, 1983; Mutwakil, 2011).

2.1.3. Fizikai romlás

A hús fizikai romlása alatt azokat a folyamatok értjük, amelyek a hús állományának valamilyen formájú elváltozásával járnak, így például színváltozással. Ezt a folyamatot gyakran váltja ki oxidáció, de a már említett elszíneződés mellett számos egyéb velejárója is lehet, például az állomány puhulása vagy kellemetlen szag, amelyek mind könnyen észrevehető jelek. Fontos tulajdonsága a romlás ezen típusának, hogy az esetek többségében nem okoz megbetegedést, jellemzően csak esztétikai, megítélésbeli különbséget okoz, kémiai elváltozással nem jár. Gyakori okozója lehet a víztartalom változás is, ez történhet mindkét irányba, tehát termék vízvesztése általi száradása és a vízfelvétel általi nedvesedés, amely a terméket ideális táptalajjá teheti mikroorganizmusok számára, továbbá a lassú fagyás során keletkező jégkristályok is károsíthatják a szerkezetet (2. ábra). Származhat mechanikai forrásból is, például a termék ütődése szállításkor, izomrostok szakadása, vágási sérülések által is (Mutowakil, 2011).

2. ábra Lassú fagyasztott sérült szerkezetű hús (forrás: <https://hovege.hu/sporolj/2024/01/19/meddig-fogyaszthato-a-fagyasztott-hus-es-a-hal/>)



2.2. Fizikai tartósítási módszerek

Az élelmiszerek tartósítása hosszas múlttal rendelkezik, történelmi források alapján megállapítható, hogy már korai civilizációk is alkalmaztak kezdetleges tartósítási technológiákat, így például sózást, szárítást, füstölést és erjesztést. Azonban ahhoz, hogy a hosszabb eltarthatóság mellett a termék jobban megtartsa friss jellemzőit egyéb tartósítási módokra is szükség volt, ezek megfelelő felhasználásával és kombinálásával napjainkra érzékelhető változások nélkül tudunk tartósítani (Mutwakil, 2011).

A hús ideális táptalaja a romlást okozó mikrobáknak, ezáltal különösen romlandó terméknek tekintendő, ez pedig szükségessé teszi tartósítási eljárások használatát a hosszabb eltarthatósági idő érdekében. Továbbá, növekszik a minőségileg, környezet tudatosan, ár-érték arányban ideálisan és fenntarthatóan tartósított termékek iránti igény. Ez további kihívások eredményez az érzékszervileg megfelelő tartósításmódokkal szemben (Arokiyaraj, Dinakarkumar and Shin, 2024).

Napjainkban a leggyakrabban használt fizikai tartósítási módok a következők:

2.2.1. Hőelvonás

A hőmérséklet nagyon fontos szempont az eltarthatóság, a mikrobák szaporodásának megakadályozásának szempontjából, amelyet már több, mint egy évezrede alkalmaznak,

azonban az igazán nagy előrelépések ennek a technológiának a területén az elmúlt száz évben történtek (Leygonie, Britz and Hoffman, 2012).

A hús hűtésének fő célja a terméket olyan hőmérséklet alá csökkenteni, amely alatt a mikrobák szaporodása minimális, a fagyasztás esetében pedig a szaporodás teljes megállítása a cél. A mikrobák optimum hőmérséklet alá való csökkentése mind a lag fázis, mind pedig a szaporodási fázis hosszának megnövekedésével jár addig a hőmérsékletig, amikor ezek a folyamatok már végtelenül hosszúnak tekinthetők, tehát megálltak. Ez a hőmérséklet mikrobánként és élelmiszerenként is eltérő, ezáltal a húsok esetében egységesen meghatározott 5 °C hőmérséklet alatt is előfordulnak olyan mikrobák, amelyek képesek szaporodni (Aidani *et al.*, 2014).

Fontos paramétere továbbá a hűtési és fagyasztási folyamatoknak a kívánt hőmérséklet lehető leggyorsabb elérése, ugyanis minél ideálisabb ez a paraméter annál alacsonyabb csöpögési veszteség tapasztalható a hús felengedésekor. Ezt a veszteséget minél jobban le tudjuk csökkenteni, annál jobb minőségű terméket kapunk, ugyanis ezáltal kevesebb lesz az eltávozó értékes komponensek mennyisége és jobb lesz a hús kihozatali aránya is. Szükség esetén még tovább optimalizálható a veszteség mennyisége a hűtési/fagyasztási környezet páratartalmának javításával (Aidani *et al.*, 2014).

A fagyasztással kapcsolatos felmerülő nehézségek közé tartozik, hogy mivel ez a folyamat nagyrészt a hús víztartalmát érinti, így az ebben oldott anyagok (fehérjék, szénhidrátok, lipidek) egyre kisebb helyen koncentrálnak, amely felborítja a hús homeosztázisát, továbbá felsértheti vagy eltorzíthatja a sejtfalat képző membránt. Fagyasztás esetén különösen fontosnak tekinthető a kívánt hőmérséklet gyors elérése, ugyanis a lassabb fagyasztás kevesebb, de nagyobb jégkristály képződéséhez vezet, amelyek sokkal nagyobb eséllyel sértik fel a sejtfalat, ezzel vízvesztéshez és minőségromláshoz vezetve. A nem megfelelő fagyasztási idő vagy nem megfelelő fagyasztási véghőmérséklet további hibákhoz vezethet, így például fehérjék kicsapódása, lipidek oxidációja, színváltozás és a hús állományának merevedése (Leygonie, Britz and Hoffman, 2012).

2.2.2. Hőkezelés

Húsok tartósítása esetén a leggyakrabban alkalmazott hőkezelési eljárás a füstölés, ugyanis egyéb hőkezelési eljárások irreverzibilisen denaturálják a hús fehérjeszerkezetét, amely főzés során előnyös, ipari tartósításra azonban nem. Füstölés során a hőhatás mellett bizonyos aromaanyagokat is juttatunk a termékbe, amelyek segítenek kialakítani a kívánt termék jellegét. A füstölés által elért hatás és kialakított aroma több tényezőtől függ, így például a füstölés

időtartama, a hőmérséklet, a füstöléshez használt fa típusa (Sebastian *et al.*, 2005; Ledesma, Rendueles and Díaz, 2016).

Füstölés esetén nagyon fontos tényező a folyamat paramétereinek biztonságos beállítása, nem megfelelő füstölési eljárás során ugyanis számos egészségre káros melléktermék keletkezik, a legismertebb csoport közülük a policiklikus aromás szénhidrogének (PAH), amelyek organikus vegyületek (füstölés esetén fa) tökéletlen égése során keletkeznek. Szerkezetüket tekintve kettő vagy több benzol gyűrűből állnak változó elrendezésben. Napjainkra maximális koncentrációjuk jogszabályban előírt, azonban karcinogén és mutagén hatásuk miatt még most is számos kutatás témáját képezik (Kim *et al.*, 2013; Ledesma, Rendueles and Díaz, 2016).

2.2.3. Vízelvonás

A vízelvonás legalapvetőbb módja húsok esetén a szárítás, amely szintén egy ősidők óta alkalmazott fizikai tartósítási eljárás. Az idő előrehaladtával a többi tartósítási eljáráshoz hasonlóan a szárítás is intenzív fejlődésnek indult, az egyszerre szárított termékek mennyisége jelentősen megnőtt, új technológiai lehetőségeket vezettek be a szárítási folyamat optimalizálására. A szárítási eljárást gyakran nem önmagában, hanem más tartósítási módokkal egyidejűleg alkalmazzák, illetve számos módja létezik, például a vákuum szárítás, az ultraszónikus szárítás és a fagyasztva szárítás (Rahman *et al.*, 2023).

Alapvetően azt a folyamatot nevezzük szárításnak, amely során a termékből vizet távolítunk el párologtatással vagy szublimációval. A folyamat előnye, hogy a víz elvonásával csökkenthető a vízaktivitás (a_w) is, amely a mikrobák szaporodásának egyik alapfeltétele, így, ha ezt a paramétert kellő mértékben csökkenteni tudjuk, azzal lecsökkenthetjük vagy akár teljesen meg is állíthatjuk a mikrobák szaporodását. A mikrobiológiai előnyösség mellett a szárítás mellett szól, hogy a víz közege számos kémiai és biokémiai folyamatnak is, amelyek mértéke szintén csökkenthető a víz elvonásával. A szárított húsárak előnyei továbbá a kisebb helyfoglalás, könnyű szállíthatóság, az egyszerű fogyaszthatóság és az energiatakarékosság, ugyanis sem tárolás, sem pedig értékesítés során nem igényelnek hűtve tárolást. Tradicionális értelemben azokat az élelmiszereket nevezzük szárítottnak, amelyek víztartalma nem haladja meg a 25%-ot, vízaktivitásuk pedig 0,00 és 0,60 értékek között van (Mishra *et al.*, 2017).

A szárítás komplex folyamat, amely hő- és anyagátadással jár, amely alatt a hús számos fizikai változáson esik át, például zsugorodás, kristályosodás és különböző kémiai és biokémiai reakciók. A lezajló folyamatok hatására a hús érzékszervi tulajdonságaiban is változás állhat be (sötétebb szín, merevebb állomány, eltérő szag). A hús felületéről bármilyen hőmérsékleten

megtörténik a párolgás, azonban ezt a hőmérséklet emelésével jelentősen gyorsítani lehet, különösen a folyamat kezdetén, azonban, ha túl magas hőmérsékleten szárítunk, az a hús nem megfelelő/egyenetlen kiszáradásához vezet, ugyanis a külső felületen egy kemény, tömör réteg jön létre, amely nem engedi a további nedvesség eltávozását a hús belsejéből. A szárítás folyamán szükséges figyelembe venni a hőmérsékleten kívül a környezet páratartalmát és a határfelület jellegét is, ezek szintén fontos szerepet játszanak az egyenletes és megfelelő nedvességtartalomig való szárítás véghezvitelében (Mishra *et al.*, 2017).

2.2.4. Besugárzás

A besugárzás, más néven hideg sterilizálás egy olyan folyamat, melynek során energiát vezetünk át a kívánt közegen, a folyamatos hullámok elektromágneses sugárzássá alakulnak, ezek pedig ionizálják az útjukba kerülő molekulákat. Ez a sugárzás képes elpusztítani a mikrobákat a bennük található örökítőanyag megbontásával és a sejtjeikben lévő víz ionizálásával, anélkül, hogy jelentősen megemelnék az étel hőmérsékletét. Az iparban alkalmazott sugárzásmódok a gamma sugárzás, röntgen sugárzás, nagy energiájú elektronok és UV sugárzás. A felsorolt módszerek közül az elmúlt évek kutatásai alapján az UV sugárzás a leghatékonyabb baktériumölő, azonban ennek jelentős hátránya a többi módszerrel szemben, hogy nem hatol át a húson, csak a felület sterilizálására alkalmas (Rahman *et al.*, 2023; Arokiyaraj, Dinakarkumar and Shin, 2024).

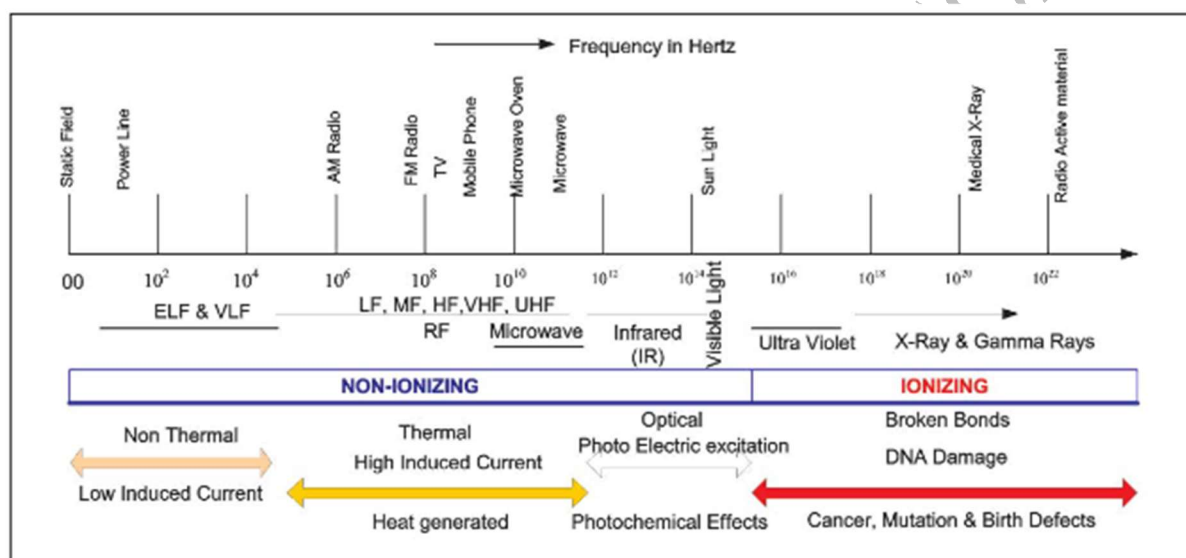
Az ionizáló sugárzás a többi fizikai tartósítási módszerhez képest jelentősen újabb technológiának számít, ugyanis az első kísérleteket 1943-ban végezték vele. Amióta azonban a tudományos világ számára ismertté vált ez az eljárás, kiemelkedő eredményeket produkált. Más tartósítási módok jelentős hátránya, hogy a mikrobák elpusztítása mellett az étel egyéb jellemzőit is befolyásolják. Az ionizáló sugárzás előnyei emellett, hogy higiénikus tárolást és a hosszabb eltarthatóság következtében távolabbra való elszállíthatóságot eredményez. Különleges tulajdonága ezen eljárásnak, hogy lágyítja a hús állományát, mivel a mikrobákat elpusztítja, az enzimatis reakciókat viszont csak minimálisan befolyásolja, így a proteolízis továbbra is le tud zajlani (Lee *et al.*, 1996).

Sajnos végül ez az eljárás sem bizonyult annyira előnyösnek, mint amennyire eleinte tűnt, ahhoz, hogy a teljes sterilizálás elvégezhető legyen olyan magas sugárdózisra volt szükség, amely már szín, szag és íz elváltozásokhoz vezetett. A huszadik század végére azonban ismét jelentősen megnövekedett az érdeklődés az alacsony dózisú ionizáló sugárzás használatára az eddig használt tartósítási módok megfelelőségének megkérdőjeleződésével (Lee *et al.*, 1996).

2.3. Az elektromágneses sugárzás (röntgen-UV-látható fény-infravörös tartományok)

Az elektromágneses sugárzás elektromágneses hullámok sokasága, amelyeket egy frekvencián alapuló skálán helyezkednek el. A hullámok frekvenciája, avagy gyakorisága meghatározza mind a felhasználási területüket, mind pedig az egészségre való hatásukat. Nagyon sok, eltérő felhasználású hullám tartozik az elektromágneses hullámok közé (3. ábra), ezek közül néhány például a rádióhullám, az infravörös (IR) fény, a látható fény, az ultraibolya (UV) fény, a röntgen és a gamma sugárzás is (Zamanian and Hardiman, 2005).

3. ábra Az elektromágneses frekvencia spektrum (forrás: Zamanian and Hardiman, 2005)



Az elektromágneses sugárzás két nagy csoportra osztható, ionizáló és nem ionizáló sugárzásra:

Az ionizáló sugárzás elég energiával rendelkezik, hogy atomokat és molekulákat tudjon leszakítani a szövetről és képes legyen megváltoztatni a testben lejároló kémia reakciókat. Képes továbbá a leszakított ionokat és molekulákat részben vagy teljesen ionokká alakítani. Két ismert fajtája ennek a sugárzástípusnak a röntgen és a gamma sugárzás, amelyek nagyobb dózisban közismerten károsak az emberi egészségre, ezért szükséges ellenük megfelelően védekezni. Kisebb dózisu ionizáló sugárzásnak folyamatosan ki van téve az emberi szervezet természetes körülmények között, ezt a behatást nevezzük természetes háttérugárzásnak, ennek fő forrásai a napfény, a földfelszíni radioaktív anyagok, a földből szivárgó radioaktív gázok, a kozmikus sugárzás, és az emberi testben előforduló természetes radioaktivitás (Zamanian and Hardiman, 2005).

A frekvencia skála alsó tartományában helyezkednek el a nem ionizáló hatású elektromágneses sugárzástípusok, amelyeknek az ionizáló sugárzással szemben nincs elég energiájuk, hogy atomi szinten befolyásolni tudják az emberi szervezetet. Néhány példa a sugárzás ezen típusára: statikus elektromágneses mező (0 Hz), rádióhullám (30 kHz – 300 GHz), ebbe a csoportba tartozik a mikrohullám is, infravörös, látható és ultraibolya fény (300 GHz tartomány felett). Ezen hullámok mindegyike generál valamennyi hőt, azonban ez kis koncentrációban nem elegendő az emberi szövet károsításához, ezzel szemben azokon a helyeken, ahol nagy koncentrációban fordulnak elő, előfordulhat egészségkárosító hatásuk. A hétköznapi alacsony frekvenciát alkalmazó berendezések nem bocsájtanak ki elég magas koncentrációjú sugárzást, hogy kimutathatóan egészségkárosítónak tekintsük őket. Ezzel szemben a nagy koncentrációjú nem ionizáló sugárzásokkal a következő egészségügyi problémákat hozták összefüggésbe: daganatok, tumorok, fejfájás, fáradtság, Alzheimer kór és Parkinson kór (Zamanian and Hardiman, 2005).

Optikai sugárzásnak nevezzük gyűjtőnéven az infravörös, látható és ultraibolya fény összességét. Az embereket érő optikai sugárzás meghatározó része a napfényből származik, hatása, hogy gerjeszti az elektronokat, ezáltal a testfelületen található szövetek képesek azt elnyelni, amely felmelegedéshez vagy akár égéshez vezethet. Ezeknek a sugaraknak az áthatoló képessége nem jó, így leginkább a bőrre és a szemre nézve veszélyesek, hosszútávon akár látásromlást és bőrrákot is okozhatnak. Az infravörös fény hatását tekintve a látható fényhez hasonló, azonban hullámhossza nagyobb, szabad szemmel nem látható. Eltér a látható fénytől abban, hogy míg a látható fényt csak magas hőmérsékleten bocsájtják ki a tárgyak, addig infravörös fényt minden hőmérsékleten. Moderált mennyiségben nincs egészségkárosító hatásuk, egyes kutatások szerint kifejezetten pozitív élettani hatásuk is lehet. Az UV fény ezzel szemben fotokémiai hatású, ennek az emberek napfény hatására vannak kitéve, azonban csak túlzott ideig tartó vagy intenzitású UV fény jelent veszélyt az emberekre. Ennek közvetlen következménye lehet leégés, hosszútávon pedig bőrrákhoz, szemkárosodáshoz és egyéb egészségügyi problémákhoz vezethet. Számos előnnyel is rendelkezik, például a növények fotoszintézisének energiaforrása és az emberi szervezet D vitamin szintézisének része. Jelentős biológiai hatása és határfrekvenciája következtében egyes források ionizáló sugárzásként tekintenek rá (Zamanian and Hardiman, 2005).

A röntgen sugárzás, mint ionizáló sugárzás típus nagy dózisban rendkívül veszélyes az emberi szervezetre. A magas frekvencia nagy energiával jár, amely elegendő a szervezet kötéseinek bontásához, ezzel elváltozásokat és akár daganatos megbetegedéseket okozva. Felhasználása

az orvostudományban jelentős, a testen áthatolva kiváló felbontású képet tud adni a csontozatról. A diagnosztikai folyamatok során használt röntgen sugárzás dózisa rendkívül alacsony, így a vele járó veszély is annak tekinthető (Zamanian and Hardiman, 2005).

2.4. Az UV fény előállítása és tartományai (UVA, UVB, UVC)

Az UV sugárzás biológiai hatása nagyon eltérő a hullámhossz alapján, emiatt három további csoportra oszthatjuk: UVA (400-315 nm), UVB (315-280 nm) és UVC (280-100 nm). Az UV fénynek két alapvető előállítási módja van: egy tárgy izzásig hevítése, amely ennek hatására bocsájt ki magából UV fényt (ezen az elven alapul a szolár UV) vagy elektromos áram átvezetése gázon (leggyakrabban porlasztott higany). Ez utóbbi eljárást nevezzük mesterséges UV előállításnak, gyakorlati szinten ez sokkal kedvezőbb, szabályozható mennyisége és minősége miatt. A folyamat során a higany atomok felgyorsulnak és az elektródák között úszó elektronoknak ütköznek. A felgyorsított elektronok részecskeként térnek vissza a higany atomhoz, ennek hatására az elnyelt energia egy része felszabadul UV sugárzásként, mellette pedig keletkezik látható és infravörös fény is. Ennek következtében nem célszerű UVA, UVB és UVC lámpákat megkülönböztetni, ugyanis az UV lámpák esetén mindig keletkezik mindhárom fajta UV sugárzás, melléktermékként pedig látható és infravörös fény (Diffey, 2002; Maverakis *et al.*, 2010).

A napsugarakkal érkező UV fényben megtalálható mindhárom jellemző típus, azonban az UVC sugárzás gyakorlatilag teljesen elnyelődik a Föld atmoszférájában, így nem gyakorol jelentős hatást az emberi szervezetre. Az UVB sugárzás legnagyobb része szintén elnyelődik mielőtt elérné a földfelszínt, de ennek ellenére is nagyon jelentős hatása van, ugyanis ez okozza a leégést és növeli a bőrrák kockázatát. Azonban nem csak negatív hatásokkal rendelkezik, létfontosságú szerepe van a D vitamin szintézisnek a szervezetben, amely akár képes lehet egyes ráktípusok kialakulásának valószínűségét csökkenteni. Az UVA sugárzás legfőképpen a bőr öregedésében való szerepe miatt jelentős, azonban friss kutatások szerint az UVB sugárzáshoz hasonlóan növelheti a bőrrák kialakulásának kockázatát. Ahogy növekszik a légszennyezettség és vékonyodik az ózon réteg, úgy egyre nagyobb mennyiségű UVB és UVC sugárzás éri el a földfelszínt, ez pedig nagyon komoly egészségügyi kockázatot jelent, ugyanis ezek sokkal nagyobb mennyiségű energiát hordoznak (Gallagher *et al.*, 2010; Maverakis *et al.*, 2010).

Ugyan természetes körülmények között az UVC sugárzás nem éri el földfelszínt, azonban a mesterségesen előállított megfelelőjével vizsgálni tudjuk biológiai hatását. A korábban

meghatározott hullámhossz tartományt (280-100 nm) három további csoportra tudjuk osztani, ezek a vacuum UVC (100-200 nm), far UVC (200-230 nm) és near UVC (230-280 nm). Az UVC sugárzás ismert mikrobaölő hatása a nukleinsav mutagenéziséen alapul, amely képes inaktíválni a mikrobák életműködését felületeken, vízben és levegőben. Erre a célra leggyakrabban a near UVC tartományba eső 254 nm hullámhosszú besugárzást alkalmazzák, mivel ez a leghatékonyabb mikrobaölő, azonban káros mellékhatása lehet az emberi szem és bőr egészségére, ennek következtében egyre gyakoribbá válik a far UVC sugárzás használata, amely biztonságos alternatívának tűnik. A far UVC használatának egyetlen hátránya, hogy jelenleg nem ismert az élelmiszer érzékszervi tulajdonságaira gyakorolt hatása (Tavares *et al.*, 2023).

2.5. Az UV sugárzás hatásmechanizmusa a mikroorganizmusokra

Stermer és mtsai. (1987) kutatásuk során eredményes baktériumölő tartósítási módszernek ítélték az UV sugárzásos módszert. A mérés során 253,7 nm hullámhosszú sugárzást alkalmaztak, amely a legeredményesebbnek ítélt near UVC tartományba tartozik. A használt dózis 150 mW s/cm^2 volt, amely 275 uW/cm^2 550 másodpercen át tartó kezelésnek felelt meg. Ezek mellett a paraméterek mellett sima felületen két nagyságrenddel tudták csökkenteni a mikrobák koncentrációját. A dózis több mint háromszorosára emelésével további egy nagyságrenddel tudták csökkenteni ezt az értéket. Fontos megjegyezni, hogy egyenetlen felület esetén nem volt ennyire hatékony a folyamat, ugyanis a környezet részben megvédte a mikrobákat a besugárzástól. Érzékszervi szempontból a gamma sugárzással kezelt hússal összevetve azt tapasztalták, hogy az UV kezelés jelentősen kisebb eltérést eredményezett mind szín, mind pedig általános kinézet szempontjából. Ezen korai kísérlet végső eredményeként azt a következtetést vonták le, hogy az UV sugárzás segítségével érdemlegesen meghosszabbítható a baktériumok lag fázisa, így tartósításra alkalmas a módszer.

Wang *et al.*, (2023) kutatásának témája az UV besugárzás hatása volt az egyes hústípusokban megjelenő mikroba csoportokra. Csirkék esetén a kezeletlen húspan gyakran előforduló patogén organizmusok, például *E. coli*, *C. jejuni*, *L. monocytogenes* és *S. Typhimurium* baktériumok pusztulását figyelték meg. A használt dózis 5 kJ/m^2 volt és a négyből három esetben jelentős csökkenést érzekelték a kezelés utáni baktériumszámban (1,26, 1,29, 1,19 log TKE/g). Demonstrálták a kísérlet során továbbá, hogy az eltérő hullámhosszú besugárzás különböző hatékonyságú mikrobapusztulást eredményez. Összességében arra a következtetésre jutottak, hogy az eljárás alkalmas csirkehús tartósítására. Marhahús vizsgálatokor eltérő eredmények jelentkeztek a mikroba csökkenés mértékében. (Söbeli, Uyarcan and Kayaardi,

2021) kutatásai során kiemelkedően magas $3,49 \pm 0,67$ log TKE/g csökkenési értéket mértek $4,2 \text{ J/cm}^2$ dózis mellett. (Hierro *et al.*, 2012) kutatásai szerint ennél még $11,9 \text{ J/cm}^2$ mellett is jelentősen alacsonyabb csökkenést eredményezett (0,9, 1,2, 1,0 TKE/g). Ennek oka lehet a nem egységes kezelési felület. Mivel több olyan független eredmény is született, amely az iménti eredményeket igazolja, így a magasabb érték valószínűsíthetően mérési hibából, rossz mérési paraméterekből származik. A csirkehússal szemben, az ezen a mérés során kapott eredmények arra utalnak, hogy marhahús kezelésére nem az UVC kezelés az ideális módszer. Halak esetén a vizsgálatot (Mikš-Krajník *et al.*, 2017) három eljárás párhuzamos elvégzésével vitte véghez, ezzel összehasonlítva, hogy melyik eredményezi a legnagyobb arányú mikrobaszám csökkenést. Az UV kezelést a már ismert near UVC tartományban található 254 nm hullámhosszon végezték, a másik két nyers lazacfilét pedig ultraszónikusan és savas elektrolizált vízzel (AEW) tartósították. A legmagasabb tartósító hatást az UV technológia biztosította, ezzel egyértelművé téve, hogy a halak felszínének sterilizálására és a leghatékonyabb tartósításra az UVC eljárás az ideális választás. További vizsgálatok során azt is megállapították, hogy magasabb sugárzás dózis jobb mikrobiális inaktiváláshoz vezet.

(Isohanni and Lyhs, 2009) által végzett kutatás célja egy *Campylobacter jejuni* baktériumtörzs mennyiségének csökkentése volt UV sugárzás segítségével brojlercsirkék esetében. A kezelés során $9,4$ és $32,9 \text{ mW s/cm}^2$ közötti dózist alkalmaztak. A csirkék húsnál a maximális csökkenés $0,7$ log, a bőr esetében $0,8$ log, a teljes test esetében pedig $0,4$ log volt (3. táblázat). Megvizsgálásra kerültek továbbá a sugárkezelt termékek érzékszervi jellemzői, amelyek egységesen nem mutattak eltérést a kiindulási állapothoz képest. Az alacsony kapott értékek következtében a végső konklúzió, hogy önállóan nem javasolt UV sugárzást használni a brojler csirkék hosszabb eltarthatósága érdekében, más tartósítási módokkal kombinálva azonban ideális tartósítási eljárást kaphatunk (Isohanni and Lyhs, 2009).

3. táblázat Brojler csirkék különböző intenzitású UV kezelése során tapasztalt *Campylobacter jejuni* szám változás (forrás: (Isohanni and Lyhs, 2009))

UV dose (mW/s per square centimeter)	Broiler meat	Broiler skin
9.4	0.6 ± 0.2	0.8 ± 0.3
18.8	0.7 ± 0.2	0.6 ± 0.2
32.9	0.7 ± 0.2	0.8 ± 0.1

2.6. Az UV sugárzás hatása a húsok minőségi jellemzőire

Az UV sugárzás olyan elektromágneses sugárzás, amelynek bizonyos hullámhosszú variánsai elég energiát hordoznak ahhoz, hogy ionizáló sugárzásként lehessen rá tekinteni, tehát képesek a szöveti szerkezetet megbontani, ezzel változást előidézve a hús általános jellemzőiben.

2.6.1. pH

Az UV sugárzással való kezelés számos más jellemző mellett a pH változását is eredményezi, Shao *et al.*, (2021) ennek felmérése érdekében folytatott kutatást, melynek során egy kontroll mintát és egy near UVC tartományban (280 nm) sugárkezelt csirkemellet hűtve tárolt 4 °C-on hét napon át, majd mindkét minta esetén megmérte a kialakult pH-t az idő leteltével. A mérés eredménye, hogy az UV kezelt hús pH-ja körülbelül 10%-kal alacsonyabb lett, amely egyértelműen a sugárzás pH csökkentő hatására enged következtetni (Wang *et al.*, 2023).

Soro *et al.*, (2024) kutatásai során szintén vizsgálta az UV behatás befolyását a csirkemell pH-jának alakulására. A korábban említett kutatáshoz képest legfőképp abban tért el, hogy külön vizsgálta az UV-lámpa és az UV-LED hatását, illetve nem csak egy időpontban mérte a termékek pH-ját, hanem rendszeres ellenőrizte azt, ezzel lehetővé téve annak megállapítását, hogy a tíz napos tárolási folyamat mely pontján alakult ki a kezelt és kezeletlen mell között eltérés. Eleinte nem volt tapasztalható különbség a két termék között, azonban a hetedik nap során már jól érzékelhető volt, hogy a kezelt hús pH értéke sokkal lassabban emelkedett és nem érte el ugyanazokat az értékeket mint a kezeletlen mellé (Soro *et al.*, 2024). Ez teljes mértékben megegyezik a témában végzett többi kutatás eredményével, tehát az eredmények egységesen azt mutatják, hogy az UV kezelés csökkenti a termék pH-ját, azonban még a csökkent érték is határozottan a normál húsnak megfelelő tartományban helyezkedik el.

2.6.2. Szín

A húsokban lezajló színváltozás egy komplex biokémiai folyamat, amelyet számos tényező befolyásol, így például a húspan jelenlévő tejsav mennyisége, a tárolás hőmérséklete és atmoszférája. Vásárlói szempontból megfigyelve a húsarukat a frissesség mellett a másik legfontosabb tényező a termék színe, ugyanis egy élénk színű szemmel láthatóan friss terméket sokkal szívesebben vásárol meg a fogyasztó. Ezt a tényezőt alapvetően a húspan lejátszódó kémiai és biokémiai folyamatok határozzák meg, melynek eredményeképpen a mioglobin és a hemoglobin, amelyek a hús friss, vöröses színét biztosítják oxidálódnak és metmiooglobinná alakulnak, amely sokkal inkább sötétebb, barnás színű. A hús színének objektív minősítésére legmegfelelőbb berendezés a CIELAB színmérő berendezése, amely három paraméter alapján,

egy háromdimenziós koordináta-rendszerben tudja elhelyezni az élelmiszer színét. A műszer által vizsgált három paraméter a L^* (világossági tényező), a^* (vörös-zöld színtényező) és b^* (sárga-kék színtényező) (Wang *et al.*, 2023), (Park *et al.*, 2015).

A pH vizsgálatához hasonlóan az UV sugárzás csirkemell színére gyakorolt hatását szintén vizsgálták (Soro *et al.*, 2024) (Millar *et al.*, 2000) ugyanazon körülmények között, 6 percen át 280 nm hullámhosszú UV LED és 254 nm hullámhosszú UV lámpával sugárkezelt termékeket 10 napon át 7 °C-on tartósították, majd adott időközönként objektív színminősítést végeztek. A vizsgálatok eredménye, hogy a hetedik napig szinte semmilyen eltérés nem volt tapasztalható a három minta között, azonban a hetedik napon történő vizsgálat során észrevehető volt, hogy a lámpával kezelt minta színtényezője alacsonyabb a másik kettőjénél, a LED-del kezelt minta esetén ez végig megegyezett a kontrolléval. Az UV LED esetén a vörös színtényező jelentősen, a kontroll esetén pedig minimálisan csökkent a harmadik nap környékén, ezzel egyidejűleg a lámpázott hús esetén ez enyhén nőtt. A hetedik naptól mindhárom minta esetén nőtt ez a paraméter, különösen a kezeletlen húsnál. A sárga tényező a harmadik nap környékén mindhárom esetben megnövekedett, majd a folyamat végéig csökkent. Összeségében megállapíthatjuk, hogy a^* és b^* esetén minimális eltérést eredményezett az UV kezelés, míg L^* esetén gyakorlatilag egyáltalán nem volt meghatározó (Soro *et al.*, 2024).

A színben való mindössze minimális eltérés vásárlói szempontból nagyon előnyös jellemző, optimális kezelési móddá teszi az UV sugárzást (Wang *et al.*, 2023).

2.6.3. Avasodás

Avasodásnak a zsírok romlását nevezzük, amely során szabad gyökök keletkeznek, ezzel tovább gyorsítva a húsokban történő auto-oxidatív folyamatokat. Erre a reakcióra negatív hatással lehet az UV sugárzás, ugyanis előidézi zsírsavakban található karbonil csoportok leválását, amely gerjeszti az avasodási folyamatot (4. ábra). A zsír oxidációjának előrehaladottságát TBARS-nak nevezett molekulák jelenlétének mérésével lehet azonosítani.

4. ábra Lipidek oxidációja (forrás: https://www.researchgate.net/figure/Main-lipid-oxidation-reactions_fig1_258441181)

Radical formation



Initiation



Propagation



Termination



Soro *et al.*, (2024) a korábbi paraméterekhez hasonlóan az avasodás mértékét is vizsgálták csirkemell esetében, ismételten ugyanazzal a három mintával, megegyező tárolási feltételek mellett. Ez esetben az UV LED-del kezelt minták a teljes tárolási folyamat során ugyanúgy változtak, mint a kezeletlen minta esetén, ezzel szemben azonban az UV lámpával kezelt minta esetén rögtön a besugárzást követően megnövekedett a lipidek oxidációjára jellemző paraméter és a teljes tárolási folyamat során szignifikánsan magasabb értéket mutatott. Ebből arra következtethetünk tehát, hogy a húsok avasodása szempontjából UV LED-et érdemes alkalmazni a kedvező érzékszervi jellemzők érdekében (Soro *et al.*, 2022).

A korábbi kutatások alapján Wallner-Pendleton *et al.*, (1994) megállapíthatjuk, hogy habár valóban emeli az UV kezelés a TBARS molekulák mennyiségét az esetek nagy részében, még így is a kívánt határérték alatt maradnak.

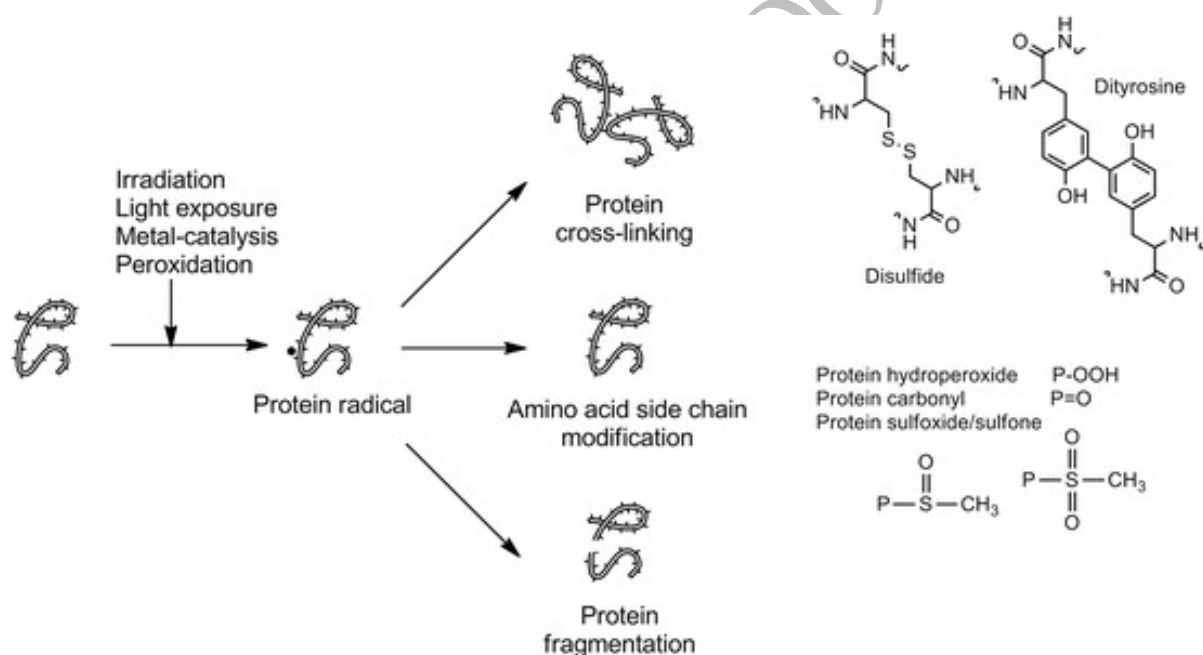
2.6.4. Fehérje oxidáció

A zsírok oxidációjának szoros velejárója a fehérjék oxidációja is, amelyek közötti összefüggést már korábban vizsgálták (Ventanas *et al.*, 2006), a zsírok protolízisével keletkező termékek képesek beindítani, a fehérjék oxidációját (5. ábra). Az UV besugárzásos kezelés ezt a folyamatot még intenzívebbé teheti, amely a hús minőségének romlásához és nehezebb

emészthetőséghez vezethet. A megfelelő sugárzás dózis megtalálásával egyaránt csökkenthető a lipidek és fehérjék oxidációja, ezzel minimalizálva a termék jellegének változását (Wang *et al.*, 2023).

Soro *et al.*, (2024) és Lázaro *et al.* (2014) vizsgálatai alapján, a korábban említett kutatásokkal megegyezően, az UV sugárzás előidézheti és felgyorsíthatja a fehérjék oxidációját, amely komplex reakció révén számos különböző melléktermék kialakulásához vezet a jelenlévő aminosavaktól függően. A többi paraméter méréséhez használt vizsgálat ismételt elvégzése során mind UV lámpa, mind pedig UV LED esetén csak minimális eltérés volt tapasztalható a kontroll mintához képest, tehát összességében megállapítható, hogy ezt a paramétert sem befolyásolta kiugróan az UV kezelés, ismételten ideális tartósítási módnak bizonyult.

5. ábra A fehérjék oxidációja (forrás: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-6496-3_17)



2.6.5. Érzékszervi jellemzők

Az érzékszervi jellemzők (szín, szag, íz és állomány) alapvető feltételei a vásárlói elfogadásnak, továbbá piaci verseny esetén ezek a tényezők lehetnek, amelyek egy terméket a másiktól kívánatosabbá tehetnek. Fontos, hogy a használt tartósítási eljárások során a termékek minél nagyobb mértékben megtartsák friss jellegüket. Mint azt már az UV kezelés hatásának vizsgálata során a korábbi paraméterekre bemutatott eredmények bizonyítják, az ionizáló sugárzással való kezelés, különösen az UV besugárzás, a legkíméletesebb eljárások közé tartozik. Természetesen ha nem megfelelően kerül megválasztásra a hullámhossz, kezelési idő,

vagy bármely más paraméter, az ennél az eljárásnál is súlyos hibákat eredményezhet (Wang *et al.*, 2023; Soro *et al.*, 2024).

Mind Soro *et al.*, (2024), mind pedig Wang *et al.*, (2023) végeztek érzékszervi minősítést a kezeletlen kontroll minta és az UV kezelt minták alapján és mindkét felmérésből ugyanaz a konklúzió vonható le: a megfelelő sugárdózist kapott termékek nem csak jelentősen tovább eltarthatók, de minden vizsgált minőségi szempontból impozánsabbak voltak a vevők számára.

Összességében tehát azt a következtetést vonhatjuk le, hogy megfelelően használva minden vizsgált szempontból az ultraibolya sugárzásos kezeléssel kapjuk az egyik legideálisabb eredményt húsok tartósítása során (Wang *et al.*, 2023)

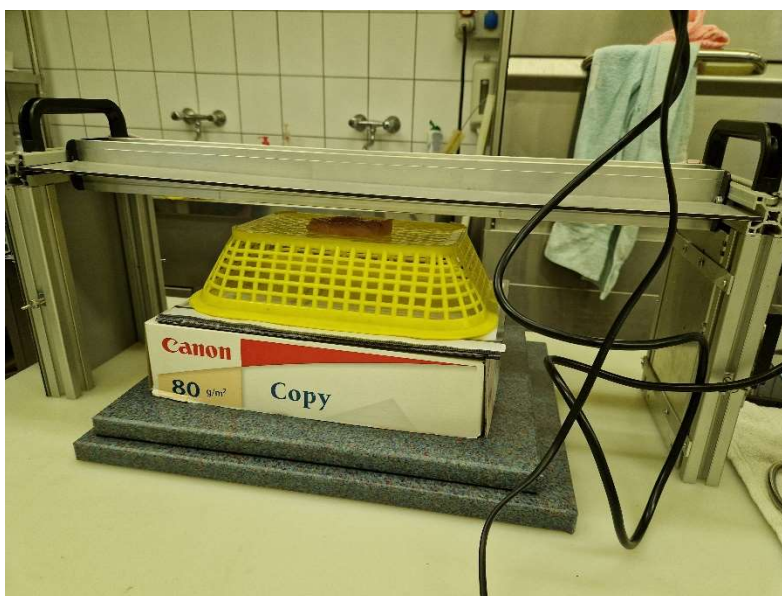
KÜRTI_ÁRON_SZAKDOLGOZAT

3. Alkalmazott módszerek

3.1 A far UVC berendezés

A Kísérleteim során a 6. ábrán látható far UVC berendezést használtam. A berendezésben LED izzók szolgáltatják az UVC fényt. A fény intenzitása 0-100% tartományban, a megvilágítás időtartama pedig programozható időkapcsolóval szabályozható. Az UVC fény intenzitását *Almemo UV* érzékelővel mértem.

6. ábra A méréseim során használt kísérleti UVC berendezés (forrás: saját fénykép)



3.2. A mikrobiológiai jellemzők változásának vizsgálata

3.2.1. Táptalaj felületére oltott baktérium UV kezelése (*Pseudomonas*, *Listeria*, *Salmonella*)

Egyes eljárások mikrobagátló hatásának vizsgálatára tenyésztést alkalmazunk, amelynek során a kiindulási mikrobaszám ismertében az eljárást követően a fennmaradó telepkepző egységek száma alapján határozhatjuk meg a gátlás mértékét. A tenyésztés során használt táptalaj szolgáltatja a mikrobák szaporodásához szükséges körülményeket (tápanyagok, pH, vízaktivitás), ennek következtében megfelelő hőmérsékleten tárolva, kellő ideig inkubálva a táptalaj felszínén a leoltott mikrobák telepeket képeznek, amelyek számából megkaphatjuk a mintában található telepkepző egységek számát.

A mikrobák közvetlen táptalajra való oltása esetén nem szükséges komplex mérőberendezés a minták vizsgálata során.

Szükséges anyagok:

- Hígító folyadék (8,5 g NaCl, 1 g pepton, 1 l desztillált víz), hígítási sorozat elkészítéséhez 9 ml-enként kiadagolva, majd sterilezve
- TSA tápagar (40 g TSA agar por, 1 l desztillált víz), sterilezést követően 20 ml-enként Petri-csészébe adagolva

A mérések minden esetben három napot vettek igénybe. Az első napon végeztem a mintához szükséges anyagok előkészítését, amelynek során a hígító folyadék esetében analitikai mérlegen kétszer 4,25 g NaCl-ot és 0,5 g peptont mértem ki, amelyeket ezt követően egy 500 ml kapacitású hőálló Schott palackba öntöttem, majd mérőhenger segítségével kimért 500 ml desztillált vizet adtam mindkét üveg tartalmához. Az üvegeket szorosan lezártam és rázással homogenizáltam. A tápoldatok elkészítéséhez analitikai mérlegen kétszer 20 g TSA tápagar port mértem ki, amely agart is tartalmaz és majd hőálló Schott palackban vízben oldottam és rázással homogenizáltam. A hígító folyadékot ezt követően diszpenzer segítségével 9 ml-enként üveg kémcsövekbe adagoltam. A szükséges anyagok elkészítését követően az oltáshoz szükséges eszközökkel (pipetta hegyek) együtt 15 percen át 121°C-on autoklávban sterileztem. A tápközeg vízfürdőben 50 °C-ra történő visszahűtését követően megközelítőleg 20 ml TSA agart öntöttem minden Petri-csészébe, majd hagytam őket megdermedni.

A második nap során lamináris áramlású fülke alatt densitométer segítségével elkészítettem a 10^8 telepkepző egység (TKE) / ml kiindulási koncentrációjú *Pseudomonas lundensis* CP-P-5, *Listeria monocytogenes* CCM 4699 és *Salmonella* Typhimurium B1310 szuszpenziókat, melyekből tizedelő hígítással 10^6 TKE / ml oltószuszpenziót állítottam be. A hígítási sor elkészítése során vortex segítségével elkevertem a kiindulási szuszpenziót, majd automata pipetta segítségével 1 ml-t mértem ki ebből és hozzáadtam az egyik hígító folyadékot tartalmazó kémcsőhöz, a pipetta hegyet lecseréltem és a folyamatot ismételtam, amíg eljutottam a kívánt hígítási fokig. Továbbra is a lamináris áramlású kamra alatt egy ml mértem ki a 10^6 TKE / ml koncentrációjú oldatból 15 Petri-csészébe mindhárom baktérium tenyészet vizsgálatára. A mikroba oldatot a táptalaj felszínén lelángolt szélesztőbot segítségével eloszlattam és a Petri-csészét megdöntve a felesleget pipetta segítségével eltávolítottam.

A beoltott mintákat behelyeztem az UV berendezés alá úgy, hogy a Petri-csészék egyik felét papírlappal takartam (így egy Petri-csészén belül is összehasonlítható a különbség a kezelt és kezeletlen felület között) és minden mikroba esetén öt eltérő idő-behatási erősség kombinációval (4. táblázat) három párhuzamos kezelést végeztem. A kezelést követően a

Salmonella-t és *Listeria*-t tartalmazó agar lemezeket 37 °C-on, a *Pseudomonas* tartalmú agar lemezeket pedig 30 °C-on inkubáltam 24 órán át. A harmadik napon az inkubálási idő leteltével a minták telepszámát megszámláltam, koncentrációt számítottam belőle és az oltási koncentrációval összevetve megvizsgáltam az eljárás gátlási hatékonyságát.

4. táblázat Az első két mikrobiológiai mérés során használt paraméterek (forrás: saját munka)

	Első mérés		Második mérés	
	Idő (s)	Intenzitás (W/m ²)	Idő (s)	Intenzitás (W/m ²)
1.	0,1	0,1	0,1	60
2.	0,1	10	0,3	50
3.	0,5	1	0,5	35
4.	10	0,1	2	25
5.	10	10	5	20

3.2.2. Táptalaj felületére oltott baktérium UV kezelése (*Salmonella*)

Ezen mérés során a folyamat egésze megegyezett a 3.2.1. pontban említettekkel, mindössze annyi eltéréssel, hogy a Petri-csészéket kizárólag *Salmonella* Typhimuriummal oltottam be, a korábbi 10⁶ TKE / ml oltási koncentráció helyett pedig 10³ TKE / ml-t használtam és öt idő (s) - behatási erősség (W / m²) kombináció helyett kilencet vizsgáltam (5. táblázat) kezelésként szintén három párhuzamos alkalommal, így ezen mérés esetén a korábbi 45 helyett 27 minta készült.

5. táblázat A harmadik mikrobiológiai mérés során használt paraméterek (forrás: saját munka)

	Idő (s)	Intenzitás (W/m ²)
1.	1	42
2.	0,7	49
3.	1	49
4.	2	49
5.	0,7	57
6.	1	57
7.	2	57
8.	1	66
9.	2	66

3.2.3. Állati eredetű termék felületére oltott baktérium UV kezelése (*Salmonella*)

Ebben a vizsgálatban a korábbi mikrobiológiai vizsgálatoktól eltérően a mikroba szuszpenziót nem táptalaj felületén kezeltem UV sugárzással, hanem húsdarabok felületére oltva. Ezen eltérés azt vizsgálja, hogy a hús táptalajtól eltérő összetétele és szerkezete hogyan befolyásolja a kezelés hatékonyságát a mikrobák pusztításának szempontjából.

Ezen mérés esetén sem volt szükséges komplex analitikai berendezések felhasználása, kizárólag egyszerű laboreszközökre volt szükség.

Szükséges anyagok:

- Hígító folyadék (8,5 g NaCl, 1 g pepton, 1 l desztillált víz), hígítási sorozat elkészítéséhez 9 ml-enként kiadagolva, majd sterilizve; a húsból készített alaphígításhoz szét adagolás nélkül autoklávozva.
- XLD tápagar (56,7 g XLD tápagar por, 1 l desztillált víz), forralást követően 20 ml-enként Petri-csészébe adagolva (ez a tápagar nem igényel sterilizést)

A mérést ebben az esetben is előkészítési fázis előzte meg. Először analitikai mérlegen kimértem 5,1 g NaCl-t, majd 0,6 g peptont, mérőhengerben pedig 600 ml desztillált vizet és egy 1 l térfogatú hőálló Schott palackban elkevertem őket. Ezt követően ezt a hígító folyadékot diszpenzer segítségével 9 ml-es adagokban szétosztottam zárható üveg kémcsőbe. Ezen felül kimértem további 8,5 g NaCl-t, 1 g peptont és egy l vizet, amelyeket egy, a korábbihoz hasonló hőálló Schott palackban alaposan elkevertem, azonban ezt nem osztottam szét kémcsővekbe. A táptalaj előkészítéséhez kétszer 28,35 g XLD tápkeveréket mértem ki, amely tartalmazza szükséges mennyiségű agart, majd két fél les térfogatú hőálló Schott palackban feloldottam 500-500 ml mérőhengerben kimért desztillált vízben és rázással homogenizáltam. Ezt követően a hígító folyadékokat, és a méréshez szükséges eszközöket (50 ml-es mérőhenger, pipettahegyek) 15 percen át 121°C-on autoklávban steriliztem. A táptalajt ezúttal nem autoklávban kezeltem, helyette forrásig hevítettem. Az XLD tápközeg vízfürdőben 50 °C-ra történő visszahűtését követően Petri-csészénként megközelítőleg 20 ml-t öntöttem ki, majd hagytam őket megdermedni.

Másnap a csirkemell húsból 12 darab egységesen 10 g-os mintakockákat vágtam és egyenként Petri-csészébe helyeztem őket. Következő lépésként a 12 húsmintát beoltottam egyenként 50 μ l 10^9 TKE / ml koncentrációjú *Salmonella* Hartford szuszpenzióval és megvártam amíg az a hússzövetbe szívódik. Ezt követően elvégeztem az UV kezeléseket. Három mintát 1 másodpercig, hármat két másodpercig, hármat pedig öt másodpercig kezeltem a lámpától egy cm távolságra. A kezelt mintákat egyesével Stomacher zacskókba helyeztem, 90 ml hígító folyadékot adtam hozzájuk és kettő percen át Stomacher homogenizátorban homogéneztem. Amint ez a folyamat befejeződött a zacskóban található folyadékokból lamináris áramlású fülke alatt a kezelt minták esetén további három tagú, a kontroll (UV kezelést nem kapott) minták

esetén pedig további négy tagú hígítási sort készítettem. A hígítási sor elkészítése során a Stomacher zacskót felráztam, majd automata pipetta segítségével 1 ml-t mértem ki ebből és hozzáadtam az egyik hígító folyadékot tartalmazó kémcsőhöz, a pipetta hegyet lecseréltem, a kémcső tartalmát vortex segítségével homogenizáltam, majd ismét 1 ml-t mértem ki belőle és a folyamatot addig ismételtam, amíg eljutottam a kívánt hígítási fokig.

Ezt követően a korábban kiöntött XLD táptalaj tartalmú Petri-csészéket oltottam le a lamináris áramlású fülke alatt a következő módon: a kontroll minták esetében a hígítási sor második, harmadik, negyedik, és ötödik tagjából mértem ki 0,1-0,1 ml-t automata pipetta segítségével a táptalaj felszínére és a lelángolt szélesztőbot segítségével szélesztettem. Az UV kezelt minták oltásakor a Stomacher zacskóban található folyadékból (alapszuszpenzió) háromszor 33 μ l-t szuszpenziót mértem ki három külön Petri-csészébe, azért, hogy a kimutatási határ értékét a 10^2 -ről 10-es értékre csökkentsem. A magasabb hígítási tagokból a kontroll mintához hasonlóan egytized ml-t mértem az XLD táptalajok felületére, majd lelángolt szélesztőbottal szélesztettem. Az agar lemezek 37 °C-on inkubálásra kerültek 24 órán át. Az inkubálási idő leteltével a rajtuk található telepkepző egységeket megszámláltam, rögzítettem és kiszámítottam a kezelést túlélő mikroba koncentrációt.

3.3. A minőségi jellemzők változásának vizsgálata

3.3.1. PH mérés

A mérés során a csirkemellet 12 egységes, megközelítőleg 10 g-os darabra vágtam három egységet félreraktam kontrollként, amely nem került UV kezelésre, három szelet egy másodperc behatást kapott, három húsdarab két másodpercet, további három darab pedig öt másodpercet töltött a 3.1.1. pontban bemutatott UV berendezés alatt. A kezeléseket során minden mintát pontosan egy cm-re helyeztem az UV lámpától, 100% intenzitás mellett, ezzel szabályozva a behatás erősségét. A pH érték megállapítására Testo 206-pH2 pH mérőeszközt használtam, amelyet a húsba szúrtam ügyelve arra, hogy az elektródák megfelelően mélyen behatoljanak a mintába, hangjelzésig stabilan tartottam, majd a kijelzőről leolvastam a mért értéket. A pH vizsgálat irreverzibilis károsodást okoz a hús szerkezetében, így a minta további vizsgálata esetén érdemes a mérési pontokat úgy helyezni, hogy legyen közöttük elegendő hely további méréshez. Minden mintát megmértem az UV kezelést megelőzően, két nap hűtve tárolást követően és négy nap elteltével is. Mindegyik esetben mintánként három párhuzamos mérést végeztem, a mérések eredményét feljegyeztem.

3.3.2. Színmérés

A vizsgálat során használt kézi koloriméter működése a Lambert-Beer-törvényen alapul, a mintatestről visszaverődő fény látható tartományba eső tartományának abszorbanciáját méri. A berendezés egy háromdimenziós koordináta-rendszerben határozza meg a mintához tartozó értéket. A koordináta-rendszer három tengelye L^* (világossági tényező), a^* (zöld-piros színhatás), b^* (kék-sárga színhatás), amelynek köszönhetően átfogó képet kaphatunk a test szemmel látható színéről, azonban az emberi szemnél jelentősen pontosabban meg tudja állapítani ezt a jellemzőt és egy képernyőn megjeleníteni a mért értékeket.

Szükséges anyagok:

- A mérés nem igényel a mintán felül egyéb anyagot.

A színmérés során is a 3.3.1. alfejezetben említett rendszer szerint végeztem a csoportosítást, megegyező mintafelosztásban. A mérést megelőzően a Konica Minolta CR-400 típusú kolorimétert a hozzátartozó próbatest segítségével kalibráltam. A kalibrálás során az etalonként funkcionáló testet bevontam átlátszó frissentartó fóliával, ugyanis a minták is ezen keresztül kerültek mérésre, a hús lefedése az eszköz tisztántartása érdekében lényeges. A fóliával bevont mintákra helyeztem a kolorimétert és három párhuzamos mérést végeztem minden esetben, a mérések eredményét pedig feljegyeztem.

Ezt követően végeztem el a pH mérés során is említett UV kezelést három-három mintán egy, kettő és öt másodpercig. A kezelt mintákat ismét bevontam fóliával és újabb három párhuzamos mérést végeztem. Ezt követően kerültek hűtésre minták, majd két és négy nap elteltével a már ismertetett módon ismét elvégeztem a színmérést.

3.1.3. Avasodás mérése

A TBA szám meghatározás módszer elve:

A lipid-peroxidáció előrehaladása során keletkező malon-aldehid (MDA) koncentrációjának mérésére a legelterjedtebb meghatározási módszer a tiobarbitursav-szám (TBA) megállapítása. Az eljárás működésének alapja, hogy a tiobarbitursav (TBA) savas közegben kondenzációs reakcióba lép a malon-dialdehiddel. A kondenzáció terméke tautomer átalakulás során vörös színű vegyületté alakul, ezen termék jellemző értéke abszorpciós maximuma, amely $\lambda_{\max}=532$ nanométer. Ezt a reakció azonban nem csak a malon-dialdehid esetén, hanem minden más alifás dialdehid esetén is bekövetkezik (Lapenna and Cuccurullo, 1993). Annak következtében, hogy a vizsgált elegyekben minden egyéb dialdehid is a lipid-peroxidáció eredményeként keletkezik,

bár a reakció nem szelektív, mértéke mégis a lipid-peroxidációra jellemzőnek tekinthető. Azon vegyületeket, amelyek a malon-dialdehid mellett reakcióba lépnek a tiobarbitursavval TBA reaktív vegyületeknek (TBARS = ThioBarbituric Acid Reactive Substances) nevezzük. A TBA számot legtöbb esetben mg/kg termék mértékegységben állapítják meg.

A TBA teszt elvégzése során a TBA reaktív vegyületeket (TBARS) legegyszerűbben egy extrakciós módszer segítségével lehetséges elválasztani az élelmiszer mátrixtól. Ezen módszer a minta triklór ecetsavval (TCA) történő vizes-savas extrakcióját és szűrését foglalja magába.

A malon-aldehid (MDA) instabilitása következtében a kalibrációs görbéhez 1,1,3,3-tera-etoxi-propánt (TEP) használnak, ugyanis a TEP savas hidrolízise során (savas extrakció) malon-dialdehid keletkezik.

A minták abszorbanciájának méréséhez spektrofotométer szükséges, ez olyan optikai berendezés, amelynek segítségével a monokromatikus fény intenzitásának, illetve az intenzitás változásának nagy pontossággal való mérését tudjuk elvégezni. A mérés során a lehető legszűkebb hullámhossztartományra korlátozódó sáv szélességű fény szükséges, amelyet a kevert fényű fényforrás sugárnyalábjából a monokromátornak nevezett szerkezeti egység hoz létre. Az így létrejött fénysugár áthalad a folyékony mintát tartalmazó küvettán, a készülék pedig megméri a transzmittanciát. A berendezés ezt követően a fényintenzitás értékét elektromos jellé alakítja, amely rendszerint egy fotocella segítségével történik.

Az általam használt Hitachi U-2900 egy kétsugármenetes készülék, ami azt jelenti, hogy a sugárforrásból kilépő fény két sugárra oszlik, ezáltal a referenciaoldal (vakminta) és a vizsgálandó minta egy időben mérhető és hasonlítható össze, így kiküszöbölhető a tápfeszültség, az elektronika, valamint a sugárforrás esetleges ingadozásából eredő hiba. A készülék a 190-1100 nm-es tartományban tud mérni, tehát a látható fény mellett az ultraibolya és az infravörös spektrumban is használható.

Szükséges anyagok:

- 25 %-os triklór-ecetsav (TCA) 50 g
- 200 g desztillált víz
- 0,6 %-os tiobarbitursav (TBA) 0,6 g, 100 ml-re mérőlombikban hígítva
- a kalibrációs görbe elkészítéséhez 10 ml / l koncentrációjú tetra-etoxi-propán (TEP) törzsoldat használtam, desztillált vízben oldva

4 g aprított mintát mértem MSE homogenizátor edénybe, amelyhez 20 ml desztillált vizet adtam, és pontosan 5 percen át homogenizáltam. Ezt követően a keverékhez 5 ml 25 %-os TCA oldatot adtam, amelyet mérőhengerrel mértem ki és 4 °C-on 30 percen át ráztam, majd zárható centrifuga csövekbe öntöttem át, és továbbra is 4 °C-on 10 perc időtartamig centrifugáltam 5000 1/perc fordulatszámmon. A centrifugálás befejeztét követően a mintákat 50 ml kapacitású Erlenmeyer lombikokba szűrtem, kis üveg tölcsérek és redős szűrőpapír segítségével. Az elkészült szűrletből automata pipetta segítségével 3,5 ml mintát mértem zárható kémcsövekbe, majd 1,5 ml 0,6%-os TBA oldatot adtam hozzájuk, a kémcsöveket lezártam és 30 percen át 100 °C-on melegítettem őket. Az elszíneződött keveréket folyó hideg víz alatt lehűtöttem és azonnal elvégeztem rajtuk a fotometriás mérést 532 nanométeres hullámhosszon, Hitachi U-2900 spektrofotométerben.

A kalibrációs görbe elkészítéséhez 1, 5 és 10 ml / l koncentrációjú TEP oldatot használtam. A mérés során 4 ml megfelelő koncentrációjú TEP oldathoz 20 ml desztillált vizet adtam és homogenizáltam. Ezt követően a fent említett módon jártam el. A vak oldat elkészítésekor TEP használata helyett desztillált vizet alkalmaztam, és ismét az imént említett eljárást végeztem el rajta. Ezen minták fotometria során mért abszorbancia értékei alapján kalibrációs görbét készítettem, a hús minták esetén mért abszorbancia értékekből ezt követően ezen kalibrációs görbe segítségével meghatároztam a malon-dialdehid koncentrációt az $((x - 0,0175) / 0,0122) * 2,2 / 1000 = y$ egyenlet segítségével.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. A mikrobiológiai jellemzők változásának vizsgálata

4.1.1. Táptalaj felületére oltott baktérium UV kezelése (*Pseudomonas*, *Listeria*, *Salmonella*)

Az első közvetlenül táptalajra való oltás eredménye a 6. táblázatban található, amely sajnos nem hozott kellően informatív eredményeket, ugyanis mindössze egyetlen kombináció fejtett ki olyan erősségű gátló hatást, hogy megszámlálható mennyiségű telepkepző egységet eredményezzen. Azonban ez a behatás kellően erős volt ahhoz, hogy mindhárom mikroba esetén kifejtse hatását, a *Listeria monocytogenes* esetén négy nagyságrendet csökkentett a baktérium koncentrációján, míg a *Pseudomonas lundensis* és *Salmonella* Typhimurium törzsek esetében hat nagyságrendet. Az így fennmaradó átlagos koncentráció a *Pseudomonas* esetén 4 TKE / ml, a *Listeria* esetén $5,4 \cdot 10^2$ TKE / ml, a *Salmonella* esetén pedig 4,66 TKE / ml volt.

6. táblázat UV kezelés mikroba gátló hatása közvetlenül táptalajra oltva *Pseudomonas*, *Listeria* és *Salmonella* esetén I. mérés (forrás: saját munka)

Idő (s)	Intenzitás (W/m ²)	<i>Pseudomonas</i> szám (TKE/ml)	<i>Listeria</i> szám (TKE/ml)	<i>Salmonella</i> szám (TKE/ml)
0,1	0,1	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás
0,1	10	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás
0,5	1	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás
10	0,1	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás
10	10	4	$5,37 \cdot 10^2$	4,66

A második közvetlen táptalajra oltott mérés során (7. táblázat) az elsőhöz hasonlóan nem volt kellően magas a sugárdózis, így kizárólag egy mikrobára, a *Pseudomonas lundensis*-re fejtett ki kellő hatást két kombináció (2s – 25W / m², 5s – 20W / m²) ahhoz, hogy számlálható nagyságrendre csökkentse a telepkepző egységek számát. Ezen kezelés során a telepkepző egységek száma $3,5 \cdot 10^2$ TKE / ml és $1,6 \cdot 10^2$ TKE / ml volt.

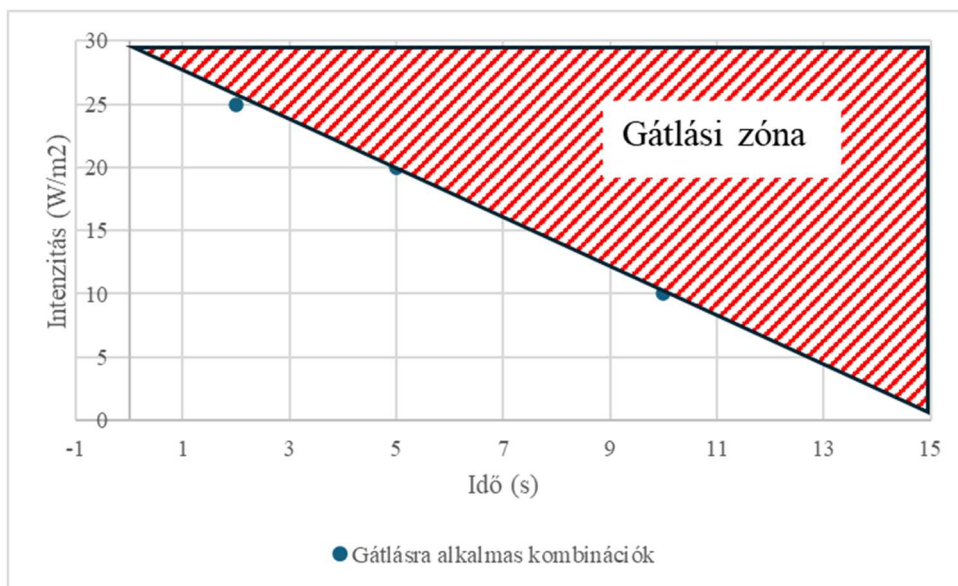
7. táblázat UV kezelés mikroba gátló hatása közvetlenül táptalajra oltva *Pseudomonas*, *Listeria* és *Salmonella* esetén II. mérés (forrás: saját munka)

Idő (s)	Intenzitás (W/m ²)	<i>Pseudomonas</i> szám (TKE/ml)	<i>Listeria</i> szám (TKE/ml)	<i>Salmonella</i> szám (TKE/ml)
0,1	60	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás
0,3	50	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás
0,5	35	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás
2	25	$3,54 \cdot 10^2$	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás
5	20	$1,6 \cdot 10^2$	Nincs mérhető gátlás	Nincs mérhető gátlás

A fenti két mérés célja a hatékony behatási idő – intenzitás kombináció megtalálása volt, a vizsgálatok során három a célnak megfelelő kombinációt azonosítottam, amelyek segítségével

létrehoztam egy határvonalat a hatékony és hatástalannak vélt kezelések között (7. ábra). Az ezen vonal fellett elhelyezkedő kombinációk azok, amelyeket érdemes lehet további vizsgálatok során elemezni a legoptimálisabb, az iparban is megfelelő hatékonysággal használható párosítás megtalálására.

7. ábra Potenciális gátlási zónáról készített grafikon (forrás: saját munka)



4.1.2. Táptalajra felületére oltott baktérium UV kezelése (*Salmonella*)

A 4.1.1. pontban ismertetett mérések alapján megállapítható volt, hogy a vizsgált baktérium tenyészetek közül a *Salmonella* volt a legkönnyebben pusztítható, ennek tudatában a továbbiakban a kísérleteket kizárólag erre a patogénre szűkítettem. A módosított idő-intenzitás paraméterekkel végzett mérés a korábbi vizsgálatokkal ellentétben az esetek nagy hányadában számlálható telepszámot eredményezett, amelyek esetén a párhuzamos méréseket átlagoltam és megvizsgáltam a pusztító hatás mértékét az egyes kombinációkra nézve. A mérési eredmények nem minden esetben feleltek meg a vártnak, például mindhárom vizsgált esetben egységes intenzitás esetén az egy másodperc kezelés hatékonyabbnak bizonyult, mint a két másodperc. Ennek ellenére azonban több kísérleti beállítás esetén is sikerült két nagyságrendnyit csökkenteni a baktérium koncentrációt, amely részleges sikerességnek tekinthető. Az alábbi 8. táblázat adatai további kutatások alapjául szolgálhatnak azon kezelési párok megtalálására, amelyek gátló hatása az ez esetben elért két nagyságrendnél is nagyobb. Újabb vizsgálatok alapját képezheti annak ellenőrzése hogy egyéb intenzitásokon is valóban nagyobb gátló hatást fejt-e ki egy másodperc kezelés, mint két másodperc, illetve ennek igazolása esetén a jelenség okának feltárása.

8. táblázat Az UV kezelés hatása közvetlen táptalajra oltott Salmonellára (forrás: saját munka)

Idő (s)	Intenzitás (W/m ²)	Átlag (TKE/ml)	Szórás (TKE/ml)
1	42	6,4*10 ²	1,48*10 ²
0,7	49	1,7*10 ³	-
1	49	1,6*10 ²	6,24*10 ¹
2	49	4,2*10 ²	5,86*10 ¹
0,7	57	9,6*10 ¹	2,18*10 ¹
1	57	2,2*10 ¹	6
2	57	6,3*10 ¹	1,56*10 ¹
1	66	2,4*10 ¹	2
2	66	4,0*10 ¹	4,16

4.2.3. Állati eredetű termék felületére oltott baktérium UV kezelése (Salmonella)

A húsfelületen végzett mérés sorozat információval szolgált arról, hogy milyen különbség észlelhető ha az oltást és UV kezelést nem közvetlenül táptalaj felületén végezzük, helyette olyan húsdarabokon, amelyek szerkezete és összetétele a mérési eredmények alapján egyértelműen további védelmet biztosított a *Salmonella* számára, ugyanis annak ellenére, hogy a minták körülbelül fele számolható telepszámot eredményezett, a mikrobák koncentrációja a leghatékonyabb esetben is csak egyetlen nagyságrenddel csökkent.

A következő 9. táblázatban a korábban leszámolt telepkepző egységekből meghatározott koncentrációk és azok átlaga található, amelyek segítségével információt kaphatunk a kezelések mikroba pusztító képességéről a kontroll és a kezelt minták koncentráció különbsége alapján. Megállapíthatjuk, hogy a hús felületén kezelve egy másodperc behatás esetén minimális mértékben csökkent a mikroba koncentráció, míg a kettő és öt másodperces kezelések esetén némileg hatékonyabb volt, ennek ellenére az egy egész nagyságrendet itt sem érte el.

9. táblázat Az állati terméken kezelt minták végső koncentrációi és azok átlaga (forrás: saját munka)

Idő (s)	Intenzitás (W/m ²)	Átlag (lg TKE/ml)	Szórás (lg TKE/ml)
0	0	7,30	0,149
1	66	7,08	0,324
2	66	6,90	0,315
5	66	6,72	0,383

Az UV sugárzás mikroba pusztító hatását tekintve megállapíthatjuk, hogy a vizsgált tartományokban ha sikerült is bizonyos mértékű mikrobakoncentráció csökkentést elérni, annak értéke nem elegendő ahhoz, hogy az eljárás ezen mérések alapján iparilag alkalmazható legyen, különösen annak figyelembevételével, hogy a húsok felületén a mikrobák még ellenállóbbnak

bizonyultak. Antimikrobás kezeléseknél gyakran előfordul, hogy a kezelés jóval kevésbé hatásos élelmiszer mátrixban, mint modell rendszerben (esetünkben tápagaron). Ezen felismerések alapján kijelenthetjük, hogy a mért eredmények nem egyeznek a szakirodalomban feltüntetettekkel, ugyanis azok jelentős gátló hatásról számoltak be míg esetünkben csak kis mértékű csökkenés volt megfigyelhető.

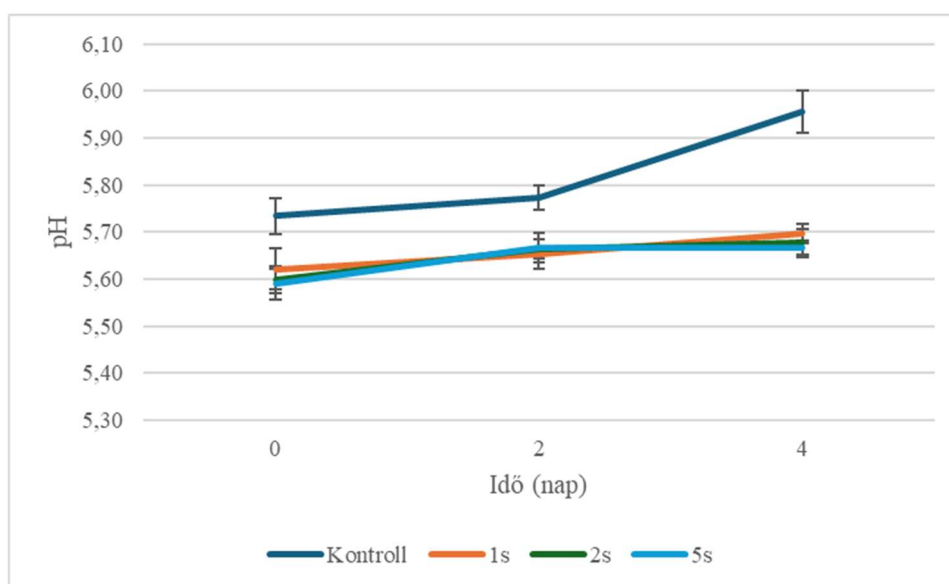
4.2. A minőségi jellemzők változásának vizsgálata

4.2.1. pH mérés

A tárolást követően a pH minden esetben növekedett, amely a vártnak megfelel, ugyanis UV kezelés elvégzése nélkül is lezajlik a folyamat az tehát az eredmények tükrében egyértelműen megállapítható, hogy a tejsav képződését teljesen nem szünteti meg az UV kezelés. Azt is megállapíthatjuk továbbá, hogy minden esetben hosszabb tárolási idő esetén tovább növekedett a pH értéke, ami a tejsav folyamatos felszabadulását igazolja.

Ahogy az 8. ábrán is láthatjuk a kontroll minták pH-ja a kezelést megelőzően is magasabb volt, azonban a negyedik napra jelentősen nagyobb volt az emelkedés mértéke, mint bármelyik UV behatáson átesett minta esetében, ebből arra következtethetünk, hogy hosszabb távon részben gátolja a tejsav felszabadulását az eljárás. Két napos tárolás esetében az eltérés sokkal kevésbé volt szemléletes, de kijelenthető, hogy hosszabb behatási időhöz nagyobb kezdeti növekedés tartozik, azonban ilyen mértékű eltérés származhat az alapanyagok jellemzőinek különbségéből is. Összességében arra következtethetünk a mérési eredményekből, hogy tárolás esetén az UV behatás rövidtávon gyorsítja a tejsav felszabadulását, hosszabb tárolás esetén azonban jelentősen lassítja, ez pedig megegyezik a Shao *et al.*, (2021), Wang *et al.*, (2023) és Soro *et al.*, (2024) által talált eredményekkel.

8. ábra A pH változása a tárolási idő függvényében (forrás: saját munka)

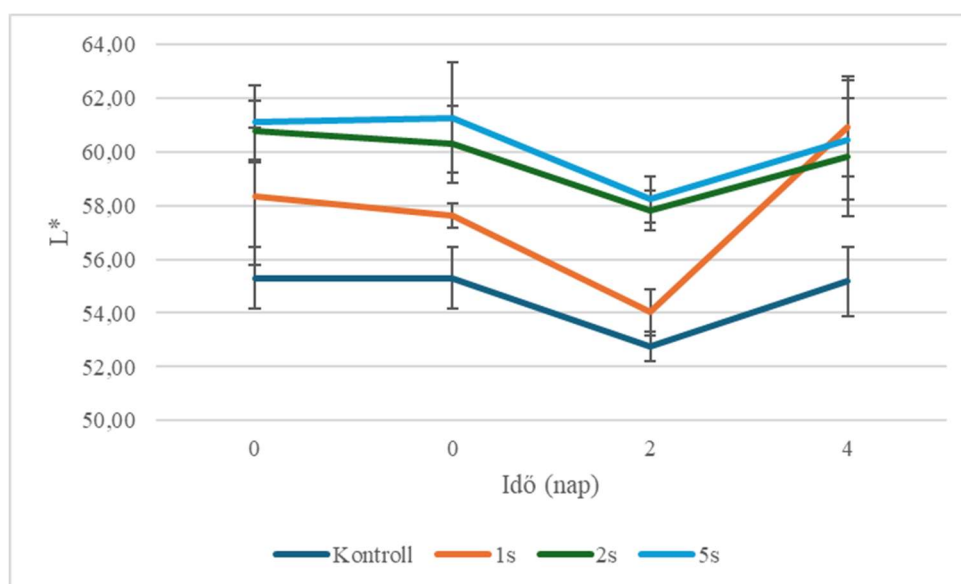


4.2.2. Szín mérés

A szín mérés eredményeinek értékelése során egymástól függetlenül és összefüggésben is vizsgálhatjuk az egyes színtényezőket. A kontroll minták esetén nem tehetünk különbséget UV kezelés előtti és utáni mintában, ugyanis ebben az esetben nem történt behatás. Ezen felül a világossági tényező szinte minden esetben csökkent közvetlen az UV kezelést követően, ez alól kizárólag az öt másodperces kezelés jelentett kivételt, amely a szórás alapján mérési pontatlanság eredménye lehet, azonban a behatás előtti és utáni értékek közötti eltérés egyik esetben sem elég magas, hogy kijelenthető legyen, hogy ez az eljárás közvetlen következménye. A tárolási eredményeket vizsgálva kijelenthetjük, hogy két nap hűtést követően minden esetben jelentősen csökkent, azonban négy nap elteltével ismét emelkedett a világossági tényező, a kiindulási érték közelébe.

A világossági tényezők változását ábrázoló 9. ábrából megállapíthatjuk, hogy az egy másodpercen át kezelt minták ingadozása kiugróan magas volt, amely a mintaként használt csirkemell inhomogenitásából származhat. Ezen felül azonban jelentős különbség nem látható az egyes kezelési idők között, amely arra enged következtetni, hogy ezen érték ingadozása nem az UV behatás következménye, ahogyan a kontroll minta alapján is érzékelhető, hanem bármilyen eljárás nélkül is lezajló folyamat.

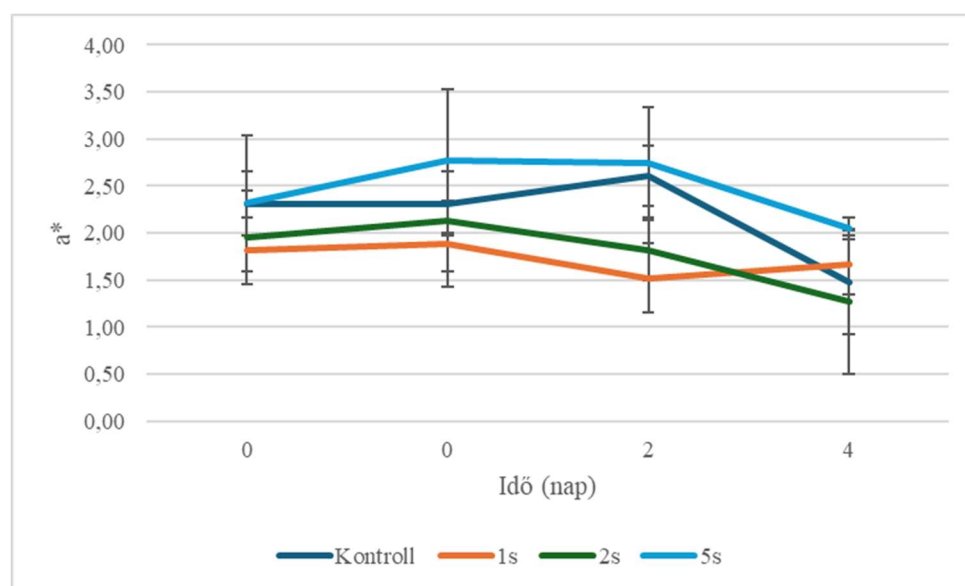
9. ábra A minták világossági tényezőjének változása a tárolási idő függvényében (forrás: saját munka)



A zöld-piros színarány (a^*) tekintetében az eredmények nem teljesen egybehangzóak, több eltérés is tapasztalható a mért eredményekben, azonban az esetek többségében jól látható, hogy közvetlenül az UV kezelést követően ez az érték jelentősen megemelkedik, azonban a tárolás után a kiindulási érték alá csökken. Ez azt jelenti, hogy a behatást követően a minta színe érzékelhetően pirosabb lesz, majd a tárolás során az idő múlásával egyre inkább a zöld irányába halad.

A kontroll minták esetében, a kezeltelkekkel ellentétben, a kezdeti növekedés az első két napot követően jelentkezik, míg az eljárásan átesett minták esetében eddigre csökkeni kezd (10. ábra). Az UV behatást követő emelkedés összefüggést mutat a kezelés időtartamával, hosszabb eljárás nagyobb emelkedést eredményez. A negyedik napot követően a piros színhatás csökkenése látszólag magasabb kezelési idő esetén nagyobb, azonban ez az egy másodpercig tartó eljárás esetében nem jelentkezik, amely ismételt az inhomogén hússzerkezet feltételezhető következménye. Jól látható továbbá az is, hogy a második és negyedik nap közötti eltérés a kontroll minták esetében a legmagasabb, amely arra enged következtetni, hogy az UV kezelést követően érzékelhető növekedés történik ebben a tényezőben, azonban hosszú távon a minta zöldülését lassítja az eljárás.

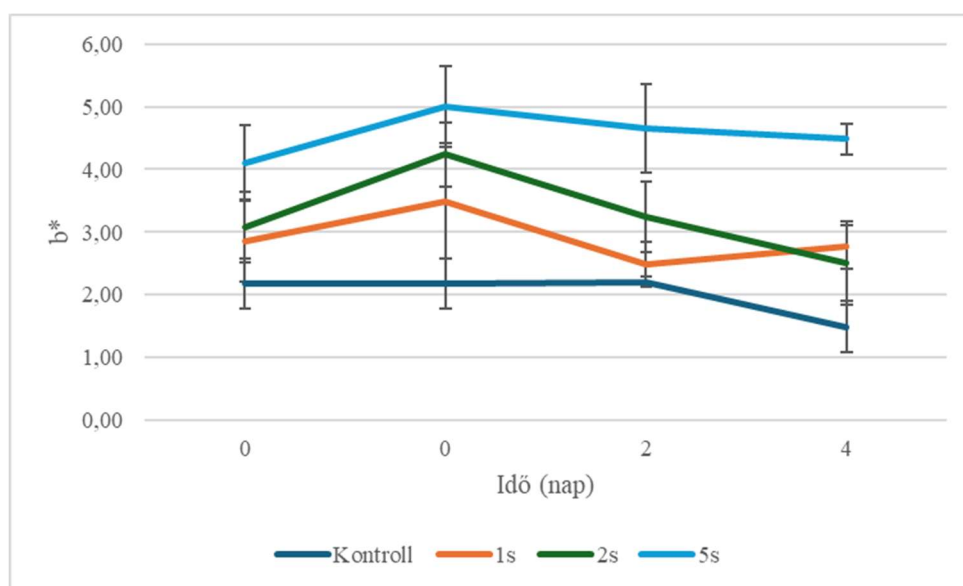
10. ábra A minták zöld-piros színhatásának változása a tárolási idő függvényében (forrás: saját munka)



A kék-sárga színarány (b^*) tekintetében ismételtelen nem teljesen homogén a mintahalmaz, azonban itt is egyértelműen felfedezhető a tendencia, hogy az UV kezelést követően a legtöbb esetben kiemelkedően magasak az értékek, tehát az arány a sárga irányába tolódik, azonban a tárolást követően ebben az esetben is folyamatosan csökkenést észlelhetünk.

Az a^* esetén tapasztaltakkal megegyezően a b^* vizsgálatokor is azt tapasztalhatjuk, hogy a kontroll minták esetén az első két nap hűtve tárolás során még növekedik az érték, míg a kezelt minták esetében eddigre már minden esetben csökkenésnek indult, amely annak következménye, hogy az emelkedés már bekövetkezett az UV behatást követően (11. ábra). Szintén egyezést mutat, hogy ebben az esetben is az egy másodpercig kezelt minta az egyetlen, amelynek sárga színtényezője magasabb két nap után, mint négy után, amely ez esetben is lehet az inhomogén hűsszövet következménye, azonban a jelenség többszöri előfordulása egyéb ismeretlen okra utalhat. Ezen felül azonban nem mutat más összefüggést a behatás ideje és a kék-sárga színtényező között ez a vizsgálat.

11. ábra A négy napig tárolt C minták kék-sárga színhatásának változása (forrás: saját munka)



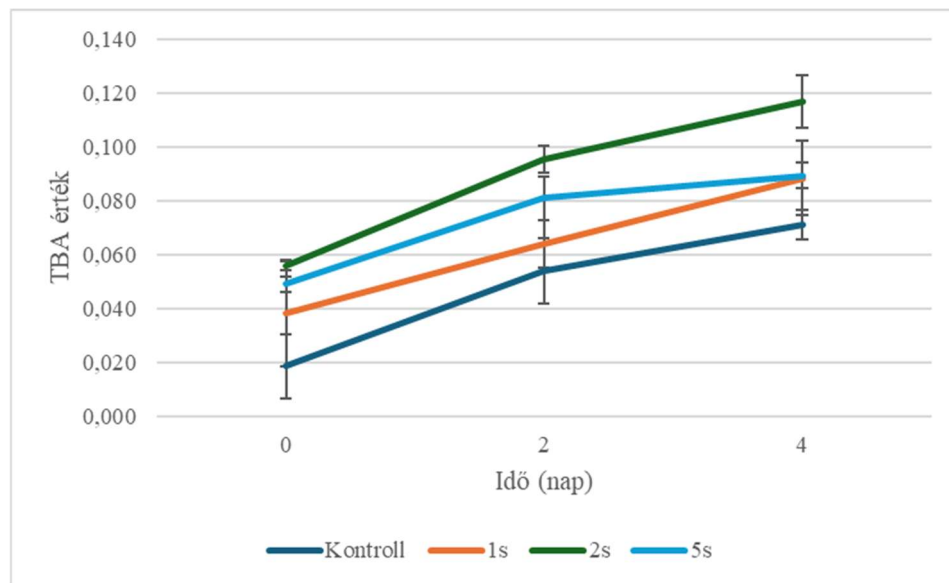
A kapott eredményeket Wang *et al.*, (2023), Park *et al.*, (2015), Soro *et al.*, (2024) és (Millar *et al.*, (2000) kutatásaiból származó információkkal összevetve megállapíthatjuk, hogy az én méréseim esetén közel megegyező volt a termék színére kifejtett minimális hatás.

4.2.3. Avasodás mérése

A minták avasodását tekintve előzetesen várható volt, hogy bizonyos fokú avasodás az UV kezelés elvégzése nélkül is lezajlik a húsokban, azonban mivel a csirkemell zsírtartalma nagyon alacsonynak számít, így nem vártam kiugróan magas értékeket. A mért eredmények egyhangúan kimutatták, hogy az UV kezelést követően jelentősen megnőtt a lipid-peroxidáció mértéke, amely az egy és két másodperces kezelések esetén a dózissal arányosan növekedett, azonban meglepő módon az öt másodperces kezelések során minden esetben jelentősen csökkent a másik két időtartamhoz képest.

Az is kimutatható továbbá a TBA mérés eredményeiből, hogy a behatást követő kezdeti nagymértékű emelkedést követően hosszútávon jelentősen csökkent az avasodás mértéke (12. ábra), amely a mért időtartamon belül ennek ellenére is magasabb maximumot mutatott, mint a kezeletlen minták, azonban javasolt annak további vizsgálata, hogy mi okozhatja, hogy 5 másodperc behatás esetén kisebb mértékű az emelkedés, mint a másik két dózis esetén, illetve ha az eddig vizsgálnál tovább tároljuk a mintákat, lehet-e kifejezetten előnyös az UV kezelés használata avasodás szempontjából.

12. ábra A minták TBA értéke a tárolási idő függvényében (forrás saját munka)



A mérés eredménye részben megegyezett Soro *et al.*, (2024) és Wallner-Pendleton *et al.*, (1994) kutatási eredményeivel abban, hogy a kezdeti TBA szám valóban megnövekedett, azonban korábban semmilyen forrásban nem találtam arra utaló információt, hogy hosszútávú tárolás esetén akár avasodás csökkentő hatása is lehet az eljárásnak.

5. Következtetések és javaslatok

A mérési eredményekből és hibákból számos következtetést vonhatunk le, amelyeket érdemes figyelembe venni esetleges további mérések elvégzésekor a témában. Elsősorban nagyon fontos a felhasznált minták homogenitása, különösen a vizsgált szempontokból, ugyanis számos mérési hiba származhat egyenetlen összetételű mintákból, amelyek a párhuzamos mérések során teljesen eltérő, magas szórású eredményeket adhatnak. Ebben a témában különösen fontos a felhasznált hús egységes szerkezete, ugyanis például a bevérzések és ínak nagy mértékű eltérést okozhatnak.

Nagyon fontos továbbá a megfelelő mérési tartomány megválasztása, ugyanis ha nem a szükséges tartományban mérünk bármilyen pontosan végezzük is el a vizsgálatot nem a kívánt régióba fog esni az eredményünk, amely például telepképző egységek vizsgálata esetén befolyásolhatja a számolhatóságot.

A dolgozat elkészítése során számos olyan kiterjesztése merült fel a témának, amely alapján az itt feltüntetett eredmények tovább pontosíthatóak és bővíthetők, így például a minőséget befolyásoló tényezők esetében a maximális tárolási idő, ugyanis minél tovább tárolunk, a hűtőtárolás ellenére is egyre nagyobb mértékben zajlanak le a megszokott biokémiai folyamatok, amelyek hosszabb időtartam mérése esetén teljesen új összefüggéseket fedhetnek fel a kezelésekkel, így például, hogy a kiindulási megugrás ellenére is jól érzékelhető volt a kezelése avasodás lassító hatása, amelynek megmagyarázása kulcsfontosságú lehet az eljárás ipari használatának kérdésében.

A színmérés során felmerülő UV kezelést követő intenzív színváltozás is számos további kérdést vet fel, például rögzíthető-e ez az állapot és ezáltal a vásárlók számára vonzóbbá tehető-e egy termék ennek az eljárásnak a használatával, különösen azt figyelembevéve, hogy a megfelelő koncentráció megtalálásával egyszerre akár több funkciót is elláthatna ez a kezelés.

További kutatások alapját képezheti az is, hogy az általam készített optimális pusztítási zóna többféleképpen bővíthető, így például, hogy a most alkalmazott verzió *Pseudomonas* esetén a legalkalmasabb, azonban számos olyan egyéb a húsokra jellemző ismert mikroba van, amire optimalizálható lenne a görbe.

Vizsgálható lenne újabb kutatások keretein belül egyéb minőségügyi paraméterek változása is a kezelés hatására, így például, hogy milyen hatással van az eljárás a fehérjék protolízisére,

amelyet az irodalmi áttekintésben is említettem, azonban a többi kísérlet mellett már nem maradt lehetőségem ezt a paramétert is megvizsgálni.

Összességében kijelenthető, hogy ez a téma számos feltáratlan kérdést rejt még magában, amelyek egy szakdolgozat kereteibe már nem fértek bele, azonban egyéb kutatások részeként rendkívül hasznosak lehetnek.

KÜRTI_ÁRON_SZAKDOLGOZAT

6. Összefoglalás

Szakedolgozatom elkészítésekor motivációm a far UVC kezelések hatásának felderítése volt friss hús esetében, mind mikrobiológiai, mind pedig minőségi tulajdonságok szempontjából. Tervem egy olyan átfogó dokumentum elkészítése volt, amely nem csak egy jellemző változását vizsgálja, átfogó képet ad a kezelés hatásáról. Vizsgáltam többek között, hogy milyen hatással van a berendezés intenzitásának és kezelési időnek változása a kifejtett hatásra, a leggyakrabban előforduló élelmiszeripari szempontból kockázatos mikrobák melyikére nézve a leghatékonyabb, van-e jelentősége a leoltásra használt táptalajnak, illetve hogy a csirkemell főbb minőségi jellemzőire milyen hatást fejt ki a kezelés. Ezen vizsgálatok eredményeinek tükrében pedig igyekeztem megállapítani a legideális idő-intenzitás kombinációt.

Kutatásaim során a kezelés hatásának feltérképezésére pH mérést, színméreést, TBA eljárást és szelektív és nem szelektív táptalajra való oltás esetében telepképző egység vizsgálatot végeztem.

Összességében a minták pH-ja tekintetében azt a következtetést vonhatjuk le, hogy rövid tárolás esetén nem befolyásolja számottevően a pH értéket az UV kezelés használata, azonban ha a kezelést követően hosszabb ideig tervezzük tárolni a húsrut az a pH emelkedésének lassulását eredményezheti. Ez az eredmény egyezik a szakirodalmak megállapításaival is, melyek az UV sugárzás használatát a pH növekedésének enyhülésével kötik össze.

A minta színének tekintetében a világossági tényező eltérése nem számottevő, továbbá közvetlenül a behatást követően jelentősen erősödött a hús piros és sárga színhatása, tárolás hatására azonban csökkent ez az érték, míg kezelés nélkül szintén lezajlott ez a folyamat, azonban sokkal gyorsabb ingadozás mellett. Ez arra enged következtetni, hogy az UV kezelés rövidtávon katalizálja a színváltozást, hosszú távon azonban kifejezetten lassítja azt. A mérések eredménye a szakirodalomban megfogalmazott minimális, esetenként elhanyagolható változáshoz képest erősebb eltérést mutatott ki a* és b* esetében.

A TBA mérés eredményeként kimondhatjuk, hogy rövid időtartamú tárolás esetén az UV kezelés határozottan gyorsítja az avasodási folyamatot, azonban további vizsgálatok során akár hosszútávú előnyös hatása is bizonyítható lenne a hús ezen tulajdonságára nézve. Az UV behatás rövidtávú hatásai tehát megegyeznek a szakirodalomban található eredményekkel, azonban hosszútávú hatásuk még nagyrészt ismeretlen.

A mikrobákra gyakorolt pusztító hatását tekintve kijelenthető, hogy ez a kezelés típus mikroba fajonként eltérő hatást fejt ki, pusztító hatása jelentősen függ a vizsgált mikróbától, az sugárzás intenzitásától, a behatási időtől és ahogyan a hús felületén történt vizsgálatból is kiderül a mikrobát körülvevő közegtől. Ezek megfelelő kombinálásával létrehozhatóak olyan kezelési módok, amelyek segítségével elvégezhető a kívánt pusztítási fok, azonban ahogyan azt a minőségügyi vizsgálatok is bizonyítják az UV sugárzás nem kizárólag a mikrobákra van hatással.

Egy iparilag alkalmazható UV sterilizáló eljárás kialakításához még számos lépés szükséges, többek között a mikroba pusztításra legalkalmasabb idő – intenzitás kombináció megtalálása, amit ezt követően terméken is tesztelni kell meggyőződve arról, hogy a hús felszínén is megfelelő mértékű mikroba pusztítás történik, továbbá hogy a használt paraméterek alkalmazhatósága egyéb mellékhatások, például kellemetlen ízek, szagok vagy romlást előidéző folyamatok kialakítása nélkül legyen megvalósítható.

Minden vizsgált tulajdonságot egybevetve megállapíthatjuk, hogy az UV kezelés számos téren gyakorol hatást az állati termékekre mind minőségügyi szempontból, mind pedig mikrobiológiai szempontból, amelynek következtében élelmiszeripari felhasználása komplex kérdés, amely kiterjedt további vizsgálatot igényel felhasználhatóság előtt, azonban rendkívül magas felhasználási potenciállal rendelkezik.

7. Irodalmi hivatkozás

Aidani, E. Aghamohammadi, B., Akbarian, M., Morshedi, A., Hadidi, M., Ghasemkhani, N., & Akbarian, A. (2014) 'Effect of chilling, freezing and thawing on meat quality: a review.', *International Journal of Biosciences (IJB)*, 5(4), pp. 159–169.

Arokiyaraj, S., Dinakarkumar, Y. and Shin, H. (2024) 'A comprehensive overview on the preservation techniques and packaging of processed meat products: Emphasis on natural derivatives', *Journal of King Saud University - Science*, 36(1), p. 103032. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.103032>.

Borch, E., Kant-Muermans, M.-L. and Blixt, Y. (1996) 'Bacterial spoilage of meat and cured meat products', *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), pp. 103–120. Available at: [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)01135-X](https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)01135-X).

Casaburi, A. Piombino, P., Nychas, G. J., Villani, F., & Ercolini, D. (2015) 'Bacterial populations and the volatilome associated to meat spoilage', *Food Microbiology*, 45, pp. 83–102. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.02.002>.

Diffey, B.L. (2002) 'Sources and measurement of ultraviolet radiation', *Methods*, 28(1), pp. 4–13. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1046-2023\(02\)00204-9](https://doi.org/10.1016/S1046-2023(02)00204-9).

Doulgeraki, A.I. *et al.* (2012) 'Spoilage microbiota associated to the storage of raw meat in different conditions', *International Journal of Food Microbiology*, 157(2), pp. 130–141. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.05.020>.

Figure 1. Main lipid oxidation reactions. (no date) ResearchGate. Available at: https://www.researchgate.net/figure/Main-lipid-oxidation-reactions_fig1_258441181 (Accessed: 30 January 2024).

Gallagher, R.P., Lee, T. K., Bajdik, C. D., & Borugian, M. (2010) 'Ultraviolet radiation', *Health Promotion and Chronic diseases Prevention in Canada*, 29 Suppl 1, pp. 51–68. Available at: <https://doi.org/10.24095/hpcdp.29.S1.04>.

Gill, C.O. (1983) 'Meat Spoilage and Evaluation of the Potential Storage Life of Fresh Meat', *Journal of Food Protection*, 46(5), pp. 444–452. Available at: <https://doi.org/10.4315/0362-028X-46.5.444>.

Hierro, E. Ganan, M., Barroso, E., & Fernández, M. (2012) 'Pulsed light treatment for the inactivation of selected pathogens and the shelf-life extension of beef and tuna carpaccio', *International Journal of Food Microbiology*, 158(1), pp. 42–48. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.06.018>.

Isohanni, P.M.I. and Lyhs, U. (2009) 'Use of ultraviolet irradiation to reduce *Campylobacter jejuni* on broiler meat', *Poultry Science*, 88(3), pp. 661–668. Available at: <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00259>.

Katiyo, W. *et al.* (2020) 'Sensory implications of chicken meat spoilage in relation to microbial and physicochemical characteristics during refrigerated storage', *LWT*, 128, p. 109468. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109468>.

Kim, K.-H. Jahan, S. A., Kabir, E., & Brown, R. J. (2013) 'A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects', *Environment International*, 60, pp. 71–80. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.07.019>.

Lapenna, D. and Cuccurullo, F. (1993) 'TBA test and "free" MDA assay in evaluation of lipid peroxidation and oxidative stress in tissue systems', *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 265(3), pp. H1030–H1032. Available at: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1993.265.3.H1030>.

Lázaro, C.A. *et al.* (2014) 'Effects of ultraviolet light on biogenic amines and other quality indicators of chicken meat during refrigerated storage', *Poultry Science*, 93(9), pp. 2304–2313. Available at: <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03642>.

Ledesma, E., Rendueles, M. and Díaz, M. (2016) 'Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention', *Food Control*, 60, pp. 64–87. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.016>.

Lee, M. Sebranek, J. G., Olson, D. G., & Dickson, J. S. (1996) 'Irradiation and Packaging of Fresh Meat and Poultry', *Journal of Food Protection*, 59(1), pp. 62–72. Available at: <https://doi.org/10.4315/0362-028X-59.1.62>.

Leygonie, C., Britz, T.J. and Hoffman, L.C. (2012) 'Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review', *Meat Science*, 91(2), pp. 93–98. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.013>.

‘maso-international-2012-2-page-003-010.pdf’ (no date). Available at: <http://www.maso-international.cz/wp-content/uploads/2013/08/maso-international-2012-2-page-003-010.pdf> (Accessed: 29 January 2024).

Maverakis, E. Miyamura, Y., Bowen, M. P., Correa, G., Ono, Y., & Goodarzi, H. (2010) ‘Light, including ultraviolet’, *Journal of Autoimmunity*, 34(3), pp. J247–J257. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2009.11.011>.

Mikš-Krajnik, M. *et al.* (2017) ‘Inactivation of *Listeria monocytogenes* and natural microbiota on raw salmon fillets using acidic electrolyzed water, ultraviolet light or/and ultrasounds’, *Food Control*, 74, pp. 54–60. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.033>.

Millar, S.J., Moss, B.W. and Stevenson, M.H. (2000) ‘The effect of ionising radiation on the colour of leg and breast of poultry meat’, *Meat Science*, 55(3), pp. 361–370. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00165-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00165-5).

Mishra, B. Mishra, J., Pati, P., & Rath, P. (2017) ‘Dehydrated Meat Products: A Review’, *International Journal of Livestock Research*, p. 1. Available at: <https://doi.org/10.5455/ijlr.20170812035616>.

Mutwakil (2011) ‘Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: A Critical Review’, *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(4), pp. 486–510. Available at: <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2011.486.510>.

Park, S.Y. and Ha, S.-D. (2015) ‘Ultraviolet-C Radiation on the Fresh Chicken Breast: Inactivation of Major Foodborne Viruses and Changes in Physicochemical and Sensory Qualities of Product’, *Food and Bioprocess Technology*, 8(4), pp. 895–906. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1452-1>.

Protein Oxidation in Meat and Meat Products. Challenges for Antioxidative Protection | SpringerLink (no date). Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-6496-3_17 (Accessed: 28 January 2024).

Rahman, M.M. Hashem, M. A., Azad, M. A. K., Choudhury, M. S. H., & Bhuiyan, M. K. J. (2023) ‘Techniques of meat preservation- A review’, *Meat Research*, 3(3). Available at: <https://doi.org/10.55002/mr.3.3.55>.

Sebastian, P., Bruneau, D., Collignan, A., & Rivier, M. (2005) 'Drying and smoking of meat: heat and mass transfer modeling and experimental analysis', *Journal of Food Engineering*, 70(2), pp. 227–243. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.002>.

Shao, L. Chen, S., Wang, H., Zhang, J., Xu, X., & Wang, H. (2021) 'Advances in understanding the predominance, phenotypes, and mechanisms of bacteria related to meat spoilage', *Trends in Food Science & Technology*, 118, pp. 822–832. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.007>.

Söbeli, C., Uyarcan, M. and Kayaardı, S. (2021) 'Pulsed UV-C radiation of beef loin steaks: Effects on microbial inactivation, quality attributes and volatile compounds', *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 67, p. 102558. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102558>.

Soro, A.B. Harrison, S. M., Whyte, P., Bolton, D. J., & Tiwari, B. K. (2022) 'Impact of ultraviolet light and cold plasma on fatty acid profile of raw chicken and pork meat', *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, p. 104872. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104872>.

Soro, A.B. Botinestean, C., Shokri, S., Juge, A., Hannon, S., Whyte, P., ... & Tiwari, B. K. (2024) 'Comparison of the impact of UV-light emitting diode and UV lamp at pilot-plant scale level on quality parameters and consumer perception of fresh chicken meat', *Food Chemistry*, 434, p. 137397. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137397>.

Stermer, R.A., Lasater-Smith, M. and Brasington, C.F. (1987) 'Ultraviolet Radiation—An Effective Bactericide for Fresh Meat', *Journal of Food Protection*, 50(2), pp. 108–111. Available at: <https://doi.org/10.4315/0362-028X-50.2.108>.

Tavares, R.S.N. Adamoski, D., Girasole, A., Lima, E. N., da Silva Justo-Junior, A., Domingues, R., ... & Dias, S. M. G. (2023) 'Different biological effects of exposure to far-UVC (222 nm) and near-UVC (254 nm) irradiation', *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 243, p. 112713. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2023.112713>.

Ventanas, S. Estevez, M., Tejeda, J. F., & Ruiz, J. (2006) 'Protein and lipid oxidation in Longissimus dorsi and dry cured loin from Iberian pigs as affected by crossbreeding and diet', *Meat Science*, 72(4), pp. 647–655. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.09.011>.

Wallner-Pendleton, E.A. Sumner, S. S., Froning, G. W., & Stetson, L. E. (1994) 'The Use of Ultraviolet Radiation to Reduce Salmonella and Psychrotrophic Bacterial Contamination on Poultry Carcasses^{1,2}', *Poultry Science*, 73(8), pp. 1327–1333. Available at: <https://doi.org/10.3382/ps.0731327>.

Wang, J. Chen, J., Sun, Y., He, J., Zhou, C., Xia, Q., ... & Du, L. (2023) 'Ultraviolet-radiation technology for preservation of meat and meat products: Recent advances and future trends', *Food Control*, 148, p. 109684. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109684>.

Zamanian, A. and Hardiman, C. (no date) 'Electromagnetic Radiation and Human Health: A Review of Sources and Effects', *HUMAN HEALTH* [Preprint].

8. Táblázatok és ábrák jegyzéke

8.1. Táblázatjegyzék

1. táblázat Egyes baktériumtörzsek életműködése eltérő csomagolás mellett	6
2. táblázat Egyes mikroba csoportok hőmérsékleti jellemzői	7
3. táblázat Brojler csirkék különböző intenzitású UV kezelése során tapasztalt <i>Campylobacter jejuni</i> szám változás	17
4. táblázat Az első két mikrobiológiai mérés során használt paraméterek	25
5. táblázat A harmadik mikrobiológiai mérés során használt paraméterek	25
6. táblázat UV kezelés mikroba gátló hatása közvetlenül táptalajra oltva <i>Pseudomonas</i> , <i>Listeria</i> és <i>Salmonella</i> esetén I. mérés	31
7. táblázat UV kezelés mikroba gátló hatása közvetlenül táptalajra oltva <i>Pseudomonas</i> , <i>Listeria</i> és <i>Salmonella</i> esetén II. mérés	31
8. táblázat Az UV kezelés hatása közvetlen táptalajra oltott <i>Salmonellára</i>	33
9. táblázat Az állati terméken kezelt minták végső koncentrációi és azok átlaga	33

8.2. Ábrajegyzék

1. ábra A glikogén bomlása	8
2. ábra Lassú fagyasztott sérült szerkezetű hús	9
3. ábra Az elektromágneses frekvencia spektrum	13
4. ábra Lipidek oxidációj.....	20
5. ábra A fehérjék oxidációja.....	21
6. ábra A méréseim során használt kísérleti UVC berendezés	23
7. ábra Potenciális gátlási zónáról készített grafikon	32
8. ábra A pH változása a tárolási idő függvényében	35
9. ábra A minták világossági tényezőjének változása a tárolási idő függvényében	36
10. ábra A minták zöld-piros színhatásának változása a tárolási idő függvényében.....	37
11. ábra A négy napig tárolt C minták kék-sárga színhatásának változása	38
12. ábra A minták TBA értéke a tárolási idő függvényében.....	39

9. Köszönetnyilvánítás

Ez úton szeretnék köszönetet mondani szakdolgozatom során nyújtott segítségükért konzulenseimnek Dr. Kiskó Gabriellának és Dr. Jónás Gábornak, továbbá Majzinger Koppánynak a TBA eljárás bemutatásáért.

Szeretném megköszönni a családomnak a folyamatos támogatást és biztatást tanulmányaim alatt.

KÜRTI_ÁRON_SZAKDOLGOZAT

NYILATKOZAT

Szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Kürti Áron Herkules
A Hallgató Neptun kódja: YQV0FB
A dolgozat címe: UV megvilágítás hatásának vizsgálata állati eredetű élelmiszerek tulajdonságaira
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Állatitermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék és Élelmiszer-mikrobiológia, -higiénia és -biztonság Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: 2024 év november hó 08. nap



Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Kürti Áron Herkules (hallgató Neptun azonosítója: YQV0FB) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre **javaslom** / **nem javaslom**¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: 2024 év november hó 08. nap



belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

NYILATKOZAT

Kürti Áron Herkules (hallgató Neptun azonosítója: YQV0FB) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom³.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*⁴

Kelt: 2024 év november hó 08. nap



belső konzulens

³ A megfelelő aláhúzendó.

⁴ A megfelelő aláhúzendó.

NYILATKOZAT

_____Kürti Áron_____ (név) (hallgató Neptun azonosítója: ____YQV0FB____)
konzulenseként _____ nyilatkozom _____ arról, _____ hogy _____ a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: Budapest, 2024. év november hó 08. nap



K. L. Galiczka
belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.