

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Nagy Dávid

Budapest

2024



MAGYAR AGRÁR- ÉS
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**Ultrahangos kezelés hatása tojástermékek fizikai és biológiai
tulajdonságaira**

DOI: 10.54598/005980

Nagy Dávid

Budapest

2024

A doktori iskola megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Simonné Dr. Sarkadi Livia

Egyetemi tanár, DSc

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezető(k): Dr. Zsorné Dr. Muha Viktória

Egyetemi docens, PhD

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás Tanszék

Dr. Felföldi József

Professor emeritus, PhD

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető(k) jóváhagyása

1. A munka előzményei, kitűzött célok

A növekvő fogyasztói igények egyre nagyobb kihívást jelentenek az élelmiszeriparnak. A jelenlegi feldolgozási technológiák gyakran kényszerítik kompromisszumokra a gyártókat, mivel az élelmiszerek feldolgozása során jelentkező kedvezőtlen hatások jelentősen befolyásolhatják a fogyasztók véleményét a termékekről. Az ilyen nemkívánatos változások elkerülése érdekében jelentős időt és forrást fordítanak új, kíméletesebb technológiák kifejlesztésére. Ennek eredményeként az utóbbi években egyre nagyobb hangsúly helyeződik a kíméletes eljárásokra, amelyek a jelenlegi technológiák mellett alternatívát kínálnak. Számos kutatás szerint ezek a kíméletes feldolgozási technológiák, például a magas nyomású kezelés, besugárzás, hideg plazma technológia, ultrahangos és ultrabolya kezelés (nem termikus eljárások), illetve a termikus módszerek közül például a sous-vide, emellett a különböző csomagolási technológiák (módosított atmoszférájú csomagolás, aktív vagy ehető csomagolóanyagok) hatékony megoldást kínálhatnak az élelmiszerek eltarthatóságának növelésére.

Ezek közül az ultrahang a sokoldalú alkalmazhatóságának köszönhetően kiváló alternatívát jelenthet a hagyományos élelmiszeripari eljárások helyettesítésére. Az ultrahang alkalmazhatóságát az úgynevezett akusztikus kavitáció jelenségének köszönheti, mely során mikroszkopikus, néhány száz mikrométer átmérőjű buborékok képződnek. A kavitációs buborékok összeomlásakor felszabaduló nyomás, illetve hőmérséklet hatása képes a sejtek egyes alkotórészeit felbontani, így a sejt működését megzavarni, a sejtet elpusztítani.

Dolgozatom során szeretném megvizsgálni az ultrahang hatását különböző, folyékony halmazállapotú tojástermékek jellemzőire, valamint a kapott eredményeken keresztül bemutatni a technológia alkalmasságát a jövőbeni fejlesztésekre az iparban.

Célkitűzések

Célkitűzéseim alapja az ultrahangos kezelés kiterjedt alkalmazhatósága, mely lehetőséget nyújt a különböző tojástermék kíméletes kezelésére, valamint jellemzőinek előnyös változtatásához. Erre a technológiára a szakirodalomban legtöbbször csak kiegészítő módszerként tekintenek egy másik, fő kezelési eljárás elősegítésére. Céлом, hogy az ultrahangot, mint fő eljárást alkalmazzam sikeresen a tojástermékek esetében.

Kutatásaim során az alábbi kérdésekre kerestem válaszokat:

1. Képes-e az ultrahang önmagában szignifikáns mértékben csökkenteni a mesterségesen *E. coli*-val fertőzött tojáslevek mikrobiológiai szennyezettségét?
2. Kimutatható-e az ultrahang hatása a tojáslevekre közeli-infravörös technológia (NIR) segítségével?
3. Képes-e az ultrahang, mint fő kezelési módszer kiegészítve egy enyhe hőkezeléssel a mérési határ alá csökkenteni a tojáslevek *E. coli* számát?
4. Milyen mértékű változást okoz az önálló ultrahang kezelés és a kombinált kezelés a tojástermékek közeli infravörös spektrumának jellemzőiben?
5. Milyen hatással van az ultrahangos eljárás a tojásfehérje habképző képességére, illetve habtartósságára?

2. Anyagok és módszerek

2.1 Tojáslé minták

A vizsgálatok során háromféle tojásterméket (teljes tojáslevet, tojás fehérjét és sárgáját) használtam, melyet a Capriuvus Kft. bocsátott rendelkezésemre. A tojástermékek „A” osztályú, homogenizált, friss tyúktojásokból készültek.

A mintákat a felhasználás idejéig hűtőszekrényben, 0-4°C-on tároltam 1 literes italkartonokban. A mérések előtt a tárolók tartalmát összeráztam és egy nagy tárolóedényben összekevertem a homogén minták biztosítása érdekében.

2.2 Ultrahangos kezelés

Az ultrahangos kezelések során a HBM Machines (MJ Mooedrecht, Netherlands) által gyártott 16 literes berendezést használtam. Az eszköz 20 kHz, illetve 40 kHz frekvenciájú, valamint 180 W és 300 W névleges teljesítményű ultrahang előállítására képes. A hatásos/tényleges teljesítmény kalorimetrikusan meghatározott értéke 180 W névleges teljesítmény esetén 3,7 W, míg 300 W esetén 6,9 W. A kiértékelések során a hatásos teljesítményt vettem figyelembe. A kiértékelések során továbbá a kezelések energiadózisát is vizsgáltam, mely a hatásos teljesítmény és a kezelési idő szorzata.

Háromféle tojáslevet az ultrahang frekvenciája, teljesítménye és a kezelési idő minden kombinációjában kezeltem annak érdekében, hogy kiderítsem a mely paraméterek befolyásolják legjobban a vizsgált értékeket.

Az önálló ultrahangos kezelés során döntő fontosságú volt ügyelni arra, hogy a kezelés során a közeg ne melegedjen fel és elkerüljem a hőhatás által előidézett változásokat. Ezért külső pufferrel ellátott keringési rendszert építettem ki. Egy jeges vízzel töltött tartályt helyeztem az ultrahangos berendezés mellé, melyet egy merülő szivattyú segítségével keringtettem a rendszeren keresztül, ami ellensúlyozta a berendezés által generált hőmennyiséget. Ez a hűtőrendszer képes volt az egész kezelés alatt 18 ± 2 °C hőmérsékleten tartani a közeget és a mintákat.

Az önálló ultrahangos kezelések tapasztalatai alapján új kísérletsorozatba kezdtem, mely során már egy kombinált kezelést alkalmaztam az ultrahang és kéméletes hőkezelés (55 °C) összevonásával.

A kezelés időtartama az önálló ultrahangos kezelések során 30, 45, illetve 60 perc, míg a kombinált kezelések esetében 30 és 60 perc volt.

2.3 A minták mesterséges befertőzése

A mikrobiológiai vizsgálatok elvégzéséhez 180-180 ml mintát oltottam be mesterségesen *Escherichia coli* (ATCC 25922) baktériummal. A mintákat 5 log CFU/ml kezdeti koncentrációban oltottam be. Szelektív és differenciáló táptalajt (ChromoBio COLIFORM, BioLab) készítettem lemezöntéssel az *E. coli* kolóniaképző egységeinek (CFU) meghatározásához, illetve a telepek megkülönböztetéséhez más mikroorganizmusoktól. Ez az agar az *E. coli* jelenlétét kék elszíneződéssel jelzi.

2.4 Közeli-infravörös spektrális mérések

A tojáslevekre gyakorolt hatás nyomon követéséhez, mint roncsolásmentes vizsgálati módszer a közeli-infravörös (NIR) mérési technikát alkalmaztam. A közeli infravörös spektrális analízist egy asztali (MetriNIR Research, Development and Service Co., Budapest, Hungary) spektrométer használatával végeztem. A transzflexiós spektrumokat 740-1700 nm hullámhossz-tartományban képes felvenni 2 nm-es felbontással. A spektrum felvétel a METRINIR mérőszoftver v0.9.0.394 (Metrika Inc., Budapest, Magyarország) segítségével történt. A berendezésből fakadó zaj csökkentése érdekében a 950-1650 nm hullámhossztartományt vettem figyelembe.

2.5 Tojásfehérje habképzési, habtartóssági vizsgálatok

Az önálló ultrahangos kezelések esetében vizsgáltam a tojásfehérje habképző és habtartóssági tulajdonságait is. 30-30 ml tojásfehérjéből főzőpohárban kézi mixerrel, szobahőmérsékleten (24°C) 5 perces habveréssel tojáshabot készítettem. A habosítás után a propellert azonnal eltávolítottam a főzőpohárból, és megmértem a hab magasságát és kiszámítottam a térfogatát.

A hab stabilitásának meghatározásához a főzőpohárhoz egy üvegtölcsért erősítettem, majd fejjel lefelé fordítottam, hogy a statikus nedvességet leválasszam. 1 óra elteltével megmértem a visszalakult tojásfehérje tömegét, így hasonlítva össze a különböző kezelések hatását a habstabilitásra.

3. Eredmények

3.1 Ultrahang, mint önálló kezelés

3.1.1 Mikrobiológiai vizsgálatok

Az ultrahangos kezelés paramétereinek hatásvizsgálata alapján kijelenthetjük, hogy mind a kezelési frekvencia, a hatásos teljesítmény és a kezelési idő szignifikáns hatással van a tojástermékek mikrobaszámának változására. A kezelt csoportok esetében az *E. coli* telepképző sejtjeinek csökkenése volt kimutatható a tojáslé mintákban. A legnagyobb csökkenést 60 perces kezelésnél értem el, melynél 6,9 W teljesítményű és 40 kHz frekvenciájú ultrahanggal kezeltem a mintákat. Teljes tojáslé és tojásfehérje esetében 0,5 log CFU/ml, tojássárgája esetében pedig 0,7 log CFU/ml értékű volt az *E. coli* telepképző sejtjeinek csökkenése a kezelés hatására. A kapott adatok azt mutatták, hogy a kontroll csoport minden esetben szignifikánsan eltért a kezelt mintáktól. Ez azt jelenti, hogy az ultrahangos kezelés (az alkalmazott beállításokkal) önmagában ugyan enyhe, de szignifikáns hatással volt a tojástermékekben levő *E. coli* túlélésére.

3.1.2 Közeli-infravörös spektrumanalízis eredményei

A spektrumok főkomponens analízise, illetve lineáris diszkriminancia analízis segítségével szignifikáns különbségeket tapasztaltam egyes kezelési beállítások között, így elmondható, hogy az ultrahangos kezelés hatással van a tojástermékek esetében a minták spektrális jellemzőjére is.

A főkomponens analízis során kapott koeficiensek vagy terhelések (loadings) alapján közvetve meghatároztam azokat a molekulacsoportokat, melyekben változások következtek be az ultrahangos kezelés hatására. Az 1300-1550 nm hullámhossztartomány további vizsgálatával további változásokat mutattam ki az Aquaphotomics segítségével. A tojástermékekben levő víz abszorpciós mintázatának (WASP) szisztematikus változása legjobban a kezelési idő vizsgálatával követhető, valamint az ultrahang frekvenciája, hatásos teljesítmény vizsgálata során is felfedezhető (egyes tojástermékeknel) valamilyen szisztéma az egyes vízmátrix koordináták mentén (WAMACS).

3.2 Ultrahang és kíméletes hőkezelés

3.2.1 Mikrobiológiai vizsgálatok

A kombinált kezelés, függetlenül az ultrahang frekvenciájától, hatásos teljesítményétől és kezelési idejétől szignifikáns hatással volt a tojáslevekben levő *E. coli* számra, mindhárom tojástermék esetében. Az eredmények azt mutatják, hogy az ultrahangos kezelés legnagyobb dózisa (28,84 kJ) 40 kHz-es kezelést használva képes volt az *E. coli* számot 5 nagyságrenddel csökkenteni minden tojástermék esetében, azaz vizsgálatainkban a mikrobaszám a kimutathatósági határ alá csökkent ($<0 \log \text{CFU/ml}$). A 20 kHz-es kezelések csak a tojássárgája esetében érték el az ilyen mértékű baktericid hatást.

Az 55 °C-os kezelések önmagukban semmilyen hatással nem voltak a tojáslevek *E. coli* tartalmára.

3.2.2 Közeli-infravörös spektrumanalízis eredményei

A főkomponens analízis során kapott koeficiensek közvetve kimutatták, hogy a kombinált kezelés hatással van a C-C, C-N, -OH és N-H molekulacsoportokra egyaránt, mindhárom tojáslé esetében.

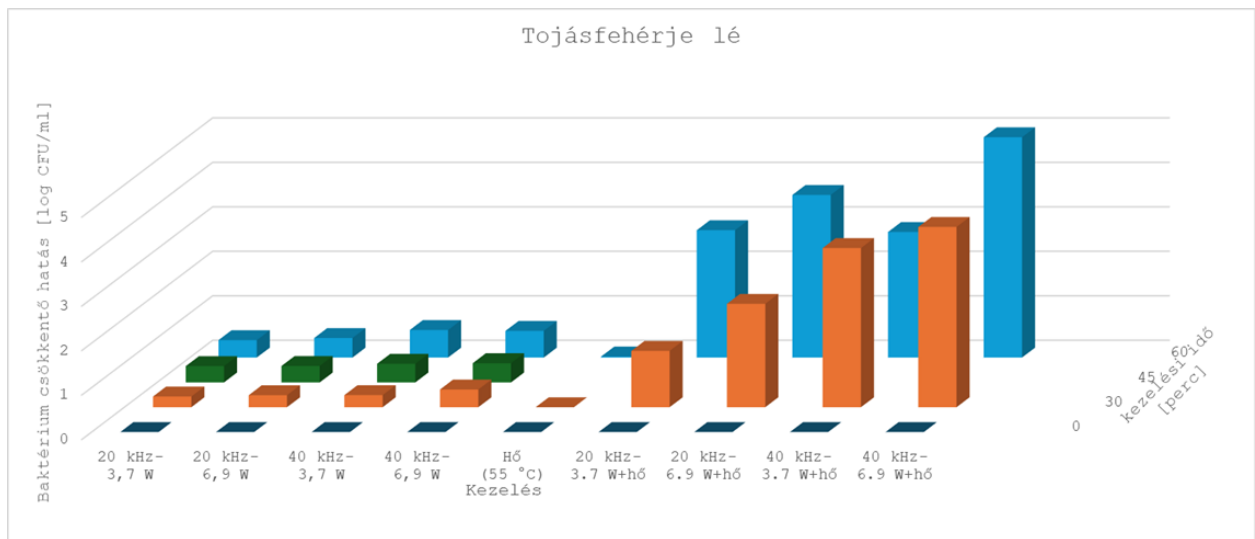
Az 1300-1550 nm hullámhossz tartomány elemze során kapott vízmátrix abszorbancia mintázatai kimutatták, hogy a kombinált kezelések és emellett az enyhe hőkezelések önmagukban is, változásokat okoznak a tojástermékek abszorbancia értékeiben a vízmátrix koordinátákon.

A lineáris diszkriminancia elemzés továbbá kimutatta, hogy a kombinált kezelés időtartama a legbefolyásolóbb paraméter a tojástermékek spektrális jellemzőinek változása szempontjából.

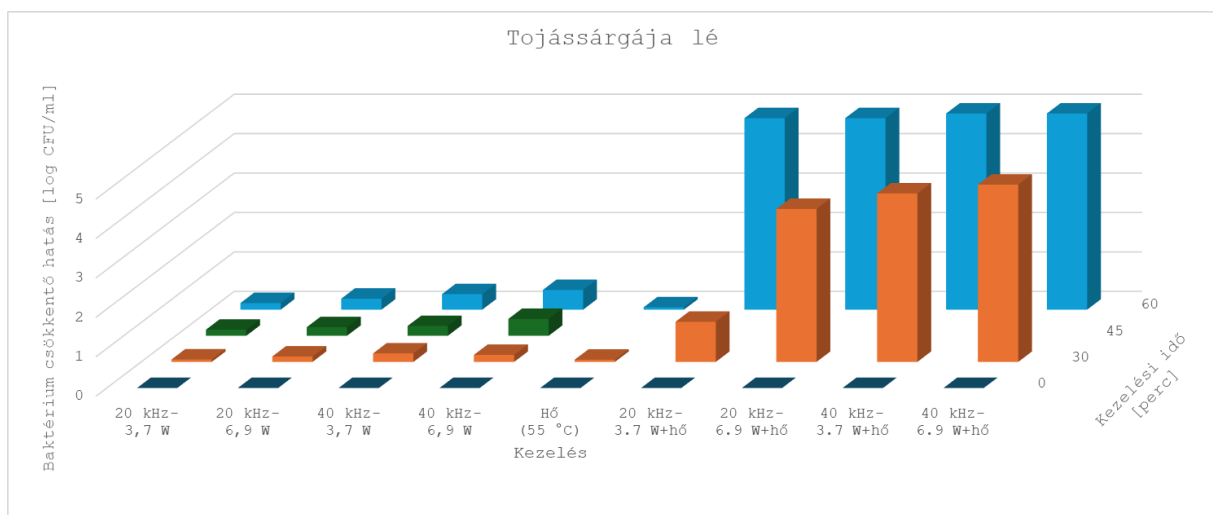
3.3 Az önálló ultrahangos- és kombinált kezelések összehasonlítása

3.3.1 Mikrobiológiai vizsgálatok

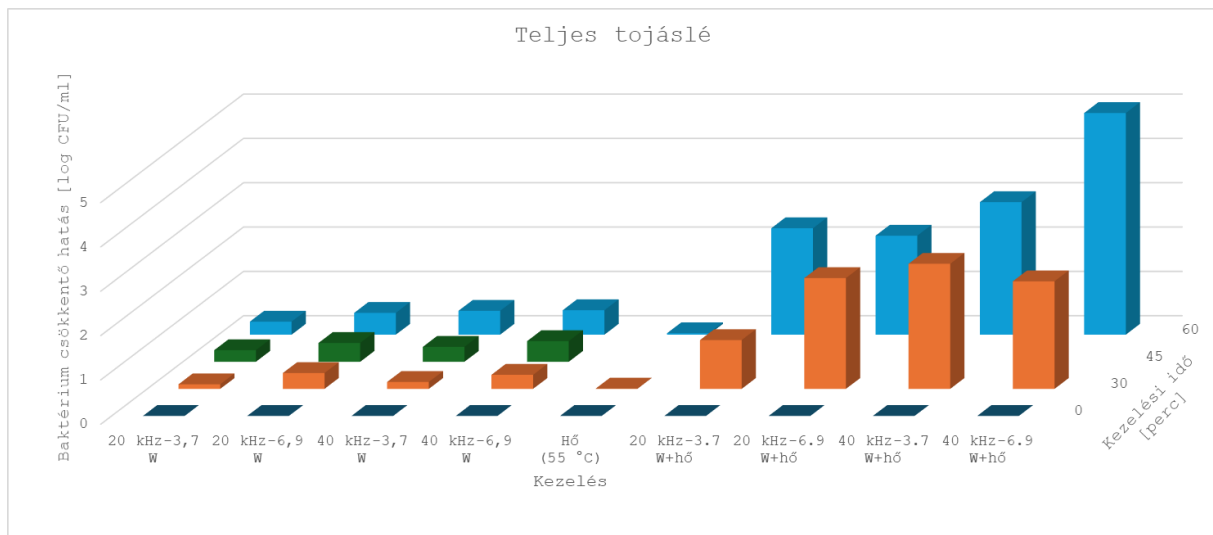
Az 1., 2. és 3. ábrán a tojásfehérje -, tojássárgája- és teljes tojáslé esetében a különböző kezelések baktériumcsökkentő hatásai láthatók, melyeken egyértelműen látszik a kezelések hatása közötti különbség. Az önálló kezelések mutattak ugyan baktériumölő hatást, viszont a kombinált kezelések hatásának mértéke ennek sokszorosa mindhárom tojástermék esetében. Kiemelendő, hogy a csak 55 °C-on hőkezelt csoportok esetében, kezelési időtől függetlenül semmilyen hatással nem voltak a tojáslevek *E. coli* tartalmára egyik tojástermék esetben sem.



1. ábra: Az önálló ultrahangos-, kombinált- illetve az enyhe hőkezelések baktericid hatása tojásfehérje lé esetében



2. ábra: Az önálló ultrahangos-, kombinált- illetve az enyhe hőkezelések baktericid hatása tojássárgája lé esetében



3. ábra: Az önálló ultrahangos-, kombinált- illetve az enyhe hőkezelések baktericid hatása teljes tojáslé esetében

3.3.2 Közeli-infravörös spektrumanalízis eredményei

A spektrumok főkomponens analízise és a lineáris diszkriminancia analízise kimutatta, hogy az enyhe hőhatásnak is kitett minták (Hő, kombinált kezelés) elkülönülnek, míg a csak ultrahangos kezelésen átesett minták átfedést mutatnak a kontroll mintákkal. Ez azt mutatja, hogy a kombinált kezelések esetében a spektrális változások nagyrészt csak az enyhe hőhatásnak köszönhető minden tojástermék esetében. Valószínű, hogy ezek a különbségek a hő által kiváltott fehérje denaturáció, koaguláció és a vízszerkezet módosulása következtében alakulnak ki, melyet az aquaphotomics eredményei is alátámasztanak.

3.4 Tojásfehérje habképzési, habtartóssági vizsgálatok eredményei

Az önálló ultrahangos kezelés hatására a legnagyobb keletkezett habtérfogat 149,23 ml volt, amely a 40 kHz-en és 6,9 W-on 60 percig kezelt tojásfehérjéből származott, viszont már a 30 perces kezelés következtében közel azonos nagyságú változást értem el. A kontroll csoportokhoz képest ez azt jelenti, hogy akár a 30 perces ultrahangos kezelés átlagban 15%-kal növelheti a habképző képességet.

A kezelések hatására a tojásfehérje hab stabilitása csökkent, valamint a visszaalakult tojásfehérje lé mennyiségének statisztikai vizsgálata alapján az ultrahangos kezelés frekvenciája, hatásos teljesítménye, kezelési ideje, illetve dózisa is szignifikáns hatással volt a habstabilitásra.

A kísérletsorozat rámutatott, hogy az ultrahangos kezelés szignifikáns hatással van mind a tojásfehérje habképző tulajdonságára, valamint a keletkezett hab stabilitására egyaránt. A habkapacításra a kezelés hatásos teljesítménye és dózisa volt szignifikáns hatással. Az ultrahang dózisa növekedésével nem tapasztaltam monoton változást a habképzésben, azonban a hatásos teljesítmény esetében a szignifikancia küszöb 3.7 W és a 6.9 W között van.

4. Következtetések és javaslatok

A kutatásom során az önálló ultrahangos kezelést sikerrel alkalmaztam a tojáslevekben található *E. coli* mikrobaszám szignifikáns mértékű csökkentésére. A kezelések hatására a mikrobaszám csökkenés nem érte el a kívánt határértéket, azonban egy nagyobb dózisu kezelés használatával ez a hatás fokozható, így érdemes megvizsgálni a módszer hatásosságát más kezelési paraméterek mellett is.

Az ultrahang mikrobiológiai változásain túl vizsgáltam a tojástermékek közeli infravörös spektrumára gyakorolt hatását is, mely során egy viszonylag új tudományágat, az Aquaphotomics-et is segítségül hívtam.

A közeli-infravörös spektrumok analízise alkalmas volt a kezelések okozta változások kimutatására, valamint közvetve következtethetünk azokra a molekulacsoportokra, melyekre hatással volt a kezelés. További kutatások javasoltak a molekulacsoportok kemometrikus meghatározására, illetve a spektrális adatok és molekulacsoportok összefüggéseinek meghatározásához a tojáslevek tekintetében. A hullámhossz abszorbancia és molekulacsoportok összefüggéseinek megismerésével a módszer alkalmazható lehet a tojáslevek gyors-, roncsolásmentes mérési módszereként az iparban.

Az ultrahang és az enyhe hőkezelés kombinációjával 5 log CFU/ml *E. coli* mikrobaszám csökkenést értem el. Az 5 nagyságrendű csökkenés elegendő volt a mikrobaszámot 0 log CFU/ml eléréséhez, azonban további kutatások javasoltak, hogy a magasabb kezdeti koncentráció esetében mekkora a kombinált kezelés hatása a mikrobaszámra.

Az közeli-infravörös spektrumanalízis során kapott eredmények kimutatták, hogy a hőkezelésen is átesett minták (kombinált kezelés, önálló hőkezelés) spektrális értékei nagyobb mértékben változott. Érdemes további kutatások során megvizsgálni, hogy egy kisebb hőmérsékletű kombinált kezelés esetén mekkora mértékű változás következik be a spektrális tulajdonságokban, illetve ezzel a kezeléssel elérhető-e ilyen nagyságrendű mikrobaszám változás.

Az önálló ultrahangos kezelések hatása kimutatható volt a tojásfehérje lé habképző, illetve habstabilitási tulajdonságaira. A habképződés esetében egy bizonyos hatásos teljesítmény felett mutatkozott meg a kezelés szignifikáns hatása. További kutatások szükségesek ahhoz, hogy ezt a küszöbértéket pontosan meghatározhassuk.

5. Új tudományos eredmények

1. Kimutattam, hogy az ultrahang, mint önálló kezelési módszer szignifikáns mértékben képes csökkenteni *E. coli* baktérium mennyiségét tojásfehérje lében, már 6,66 kJ (30 perc; 3,7 W), tojássárgája lében 13,32 kJ (60 perc; 3,7 W), illetve teljes tojáslében 9,99 kJ (45 perc; 3,7 W) dózistól, frekvenciától függetlenül.
2. Kimutattam, hogy az ultrahang (3,7/6,9 W, 20/40 Hz, 30/60 perc) és az enyhe hőkezelés (55°C 30/60 perc) kombinált alkalmazása képes mindhárom vizsgált tojástermékben (tojásfehérje lé, tojássárgája lé és teljes tojáslé) található *E. coli* mikrobaszámát 5 log CFU/ml mértékben csökkenteni, míg a hőkezelésnek önmagában nem volt kimutatható hatása a tojáslevekben található mikrobaszám mennyiségre. 5 log CFU/ml mértékű *E. coli* szám csökkenés tojásfehérje és teljes tojáslé esetében 60 perces 6,9 W hatásos teljesítményű (24,84 kJ) és 40 kHz ultrahang mellett, míg tojássárgája esetében már 30 perces 6,9 W hatásos teljesítményű (12,42 kJ) és 40 kHz-es ultrahanggal értem el.
3. A kezeletlen és kezelt (ultrahangos (3,7/6,9 W, 20/40 Hz, 30/60 perc), hőkezelés (55 °C 30/60 perc) és ezek kombinációja) tojástermékek (tojásfehérje lé, tojássárgája lé és teljes tojáslé) közeli-infravörös (NIR) vizsgálatával megállapítottam, hogy a kezelések változásokat okoztak a spektrumokban, azonban a hatások jellege és mértéke alapvetően különböző. A többváltozós statisztikai módszerek (diszkriminancia analízis) elemzése megerősítette, hogy míg az ultrahangos kezelések hatása minimális, addig a hőkezelés minden tojástermék spektrumában szignifikáns változást okozott (100% DA elkülönülés), ami a molekula- és kötésszerkezet megváltozására utal.
4. Az Aquaphotomics elemzéseivel kimutattam, a tojástermékekben levő vízszerkezet változását a kezelések hatására. A vízmátrix koordinátákon (WAMACS) bekövetkező változások elemzése alátámasztotta, hogy az UH kezelések hatása kevésbé jelentős hatással van a kialakult víz abszorpciós spektrális mintázatára (WASP), mint a hőkezelés minden tojástermék esetében, mely a rendszerben levő vízmolekula- és kötésszerkezet megváltozására utal.
5. Az ultrahangos kezelés habterfogatra gyakorolt hatásának vizsgálata alapján megállapítottam, hogy a hatás egy küszöbérték feletti hatásos teljesítmény esetén jelentkezik (mely 3,7 W és 6,9 W között van esetemben), függetlenül a kezelés időtartamától és frekvenciájától. Ez indokolhatja a szakirodalomban közölt vizsgálatok

(ahol nem ismert a hatásos teljesítmény értéke) ellentmondásos eredményeit, egyben rámutat arra, hogy a gyakorlati alkalmazás méretezése kizárólag a hatásos teljesítmény alapján történhet.

6. A kezelés (40 kHz, 6,9 W hatásos teljesítmény) hatására a habkapacitás átlagban 15%-os növekedést mutat a kezeletlen mintákhoz képest már 30 perces kezelés után és ez a hatás időben nem nő tovább, telítődést mutat.
7. A habtartósság vizsgálata során megállapítottam, hogy az ultrahangos kezelés (6,9 W, 20/40 Hz, 30/60 perc) növelte a tojásfehérje habból visszaalakult tojáslé mennyiségét. A statisztikai vizsgálatok rámutattak, hogy a kezelés frekvenciája és időtartama egyaránt szignifikánsan befolyásolta a habtartósságot.

8. Kutatási témához kötődő publikációs tevékenység

Nagy, D.; Felföldi, J.; Taczmanne Bruckner, A.; Mohacsi-Farkas, C.; Bodor, Z.; Kertesz, I.; Nemeth, C.; Zsom-Muha, V. „Determining Sonication Effect on *E. coli* in Liquid Egg, Egg Yolk and Albumen and Inspecting Structural Property Changes by Near-Infrared Spectra” *Sensors* 2021, 21, 398. <https://doi.org/10.3390/s21020398>

Nagy, D.; Baranyai, L.; Nguyen, L.L.P.; Taczman Brückner, A.; Zsom, T.; Németh, C.; Felföldi, J.; Zsom-Muha, V. Combined Effect of Ultrasound and Low-Heat Treatments on *E. coli* in Liquid Egg Products and Analysis of the Inducted Structural Alterations by NIR Spectroscopy. *Sensors* 2022, 22, 9941. <https://doi.org/10.3390/s22249941>

Nagy, D.; Zsom, T.; Taczman-Brückner, A.; Somogyi, T.; Zsom-Muha, V.; Felföldi, J. Comparison of the Bactericidal Effect of Ultrasonic and Heat Combined with Ultrasonic Treatments on Egg Liquids and Additional Analysis of Their Effect by NIR Spectral Analysis. *Sensors* 2024, 24, 4547. <https://doi.org/10.3390/s24144547>

Nagy, D.; Zsom-Muha, V.; Németh, C.; Felföldi, J. Sonication effect on foam properties of egg white. *Prog. Agric. Eng. Sci.* 2021, 17, 1–8.

Nagy, D., Lambertné, M. A., Zsom, T., & Zsomné, M. V. (2018). Review on applications of ultrasonic treatments in meat industry. *Animal Welfare, Ethology and Housing Systems*, 14(1), 45-52.