

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

Az otthoni sütési-főzési eljárások hatása a baromfi-húsok kémiai és mikrobiológiai biztonságára, valamint minőségi jellemzőire

Pleva Dániel

Témavezetők: Dr. Laczay Péter
Dr. Lányi Katalin



ÁLLATORVOSTUDOMÁNYI EGYETEM
Állatorvostudományi Doktori Iskola

Budapest, 2020.

Állatorvostudományi Egyetem
Állatorvos-tudományi Doktori Iskola
Budapest

Témavezetők:

dr. Laczay Péter
Egyetemi tanár, tanszékvezető
Élelmiszer-higiéniai Tanszék
Állatorvostudományi Egyetem

dr. Lányi Katalin
Tudományos főmunkatárs
Élelmiszer-higiéniai Tanszék
Állatorvostudományi Egyetem

Doktorjelölt:

Pleva Dániel

Készült 8 példányban. Ez a(z) számú példány

Tartalom

Tartalom	2
Előzmények.....	3
Célkitűzések	3
Anyag és Módszer	4
Eredmények.....	7
Megbeszélés	10
Új tudományos eredmények.....	14
Az értekezés témájában közzétett publikációk.....	15

Előzmények

A Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (IARC) 2015-ben állásfoglalást tett közzé, és abban a vörös húsokat az emberben valószínűleg rákkeltő vegyületek csoportjába, a húskészítményeket pedig a bizonyítottan rákkeltők közé sorolta, mivel azok feldolgozása, otthoni sütése, főzése során genotoxikus karcinogén vegyületek keletkezhetnek. Az állásfoglalás a vörös húsok és húskészítmények lehetséges rákkeltő hatását három vegyületcsoport, az N-nitroso vegyületek, a policiklikus aromás szénhidrogének és a heterociklikus aminok (HCA) keletkezésével hozza összefüggésbe. HCA-ok a vörös húsok mellett baromfifajok és halak húsában is keletkezhetnek hőkezelés hatására, az IARC erre azonban nem tért ki.

A húsok sütése, grillezése során képződő rákkeltő vegyületek, így a HCA-ok mennyisége általában csökkenthető, ha a hőkezelést alacsonyabb hőfokon és rövidebb ideig végezzük. Ugyanakkor kérdés, hogy mindez hogyan befolyásolja a húsokban, illetve azok felületén található zoonotikus baktériumok hőkezelés hatására bekövetkező pusztulását, azaz a hőkezelt ételek mikrobiológiai biztonságosságát, továbbá az elkészült étel minőségét és élvezeti értékét.

Célkitűzések

Az értekezés témáját képező kutatásaim keretében három kísérletsorozatban a következőket vizsgáltam:

1. A HCA képződés mértéke grillezett bőrös és bőr nélküli csirkemellben, valamint csirkecombban az alkalmazott hőmérséklet és idő függvényében
2. A HCA képződés mértéke a hús felszínén illetve belsejében bőrös és bőr nélküli csirkemellben nyitott és zárt grillezés körülményei között különböző hőmérséklet – idő kombinációk alkalmazásával, továbbá a heterociklikus amin képződés és a hús színének változása közötti kapcsolat tanulmányozása
3. A különböző hőmérséklet-idő kombinációjú grillezés hatásának vizsgálata a *Salmonella* Enteritidis hőpusztulására

A kísérletek eredményeiből statisztikai összefüggéseket vontunk le a HCA képződés és a *Salmonella* pusztulás, valamint a HCA képződés és a hússzeletek színváltozása között.

Anyag és Módszer

Grillezés

A vizsgálatokat az Állatorvostudományi Egyetem Élelmiszer-higiéniai Tanszékén végeztük. A kísérletekhez Ross 308 húshibrid csirke húsrészeit használtuk, amelyeket a kiskereskedelmi forgalomból (Budapest, Magyarország) szereztünk be. A kísérletekhez felhasznált mell- és a combfilét 40 g 1,6 cm vastag szeletekre vágtuk, minden sütési összeállítás esetében 3 párhuzamos mintát készítettünk. A hőkezeléshez az első kísérletsorozatban Electrolux ETG340 elektromos egylapú grillsütőt, a másodikban DeLonghi CGH 1012D elektromos kontakt grillt használtunk, ami több sütési paraméter felvételét tette lehetővé. A grillezési körülmények három hőmérséklet (1. kísérlet: 150/180/210; 2. kísérlet: 150/190/230 °C) és három időtartam (1. kísérlet 2,5/5/10; 2. kísérlet 5/10/15 perc) kilenc kombinációját foglalták magukba, a sütési időt minták mindkét oldalára külön-külön kell értelmezni. A szín- és a mikrobiológiai vizsgálatokra kerülő hőkezelt minták a második kísérletsorozatban leírtaknak megfelelő kezelést kapták.

Minta-előkészítés az LC-MS/MS analízishez

A mintákat botmixerrel aprítottuk (a 2. kísérletsorozat esetében a belső és külső rétegeket külön kezelve), homogenizáltuk, majd a szappanosítás következtében NaOH-oldattal. Az elegyet vízfürdő-rázógépen ráztuk, majd 10 ml-es alikvot részeket centrifugacsövekbe vettük, centrifugáltuk, majd az összes felülúszót szilikagél SPE oszlopokra vittük. A mintát etil-acetáttal eluáltuk, majd N₂ gáz alatt szárazra pároltuk. A NaOH-keverék többi részét, amely korábban lefolyt az SPE oszlopon, egy C18 oszlopra vittük, majd mintát acetonitrilrel oldottuk le ugyanabba a csőbe, amibe korábban a szilikagélről leoldottuk a HCA-at, és ismét bepároltuk. A bepárolt terméket feloldottuk 0,5 ml acetonitrilben, amely belső sztenderd koffeint tartalmazott.

LC-MS/MS analízis

A mennyiségi kémiai elemzés során két pirolitikus (harman, norharman) és három termikus (MeIQx, 4,8-DiMeIQx, PhIP) HCA-t vizsgáltunk és azt egy Shimadzu LCMS 8030 HPLC-MS/MS rendszerrel végeztük. A kromatográfiás elválasztást egy C18 EVO oszlopon végeztük, amely védőoszloppal volt felszerelve. A folyadékkromatográfiás vizsgálatot gradiens elúcióval végeztük: az „A” eluens 50 mM ammónium-acetát vízben (ecetsavval beállított pH 5) volt és a „B” 0,1 V/V% hangyasav acetonitrilben. A kvadrupol tandem tömegspektrométert elektro spray

ionizációs (ESI) ionforrással, pozitív módban és multiple reaction monitoring (MRM) szerint használtuk.

Érzékszervi bírálat

Az érzékszervi elemzést az egyetem munkatársai végezték, akik szakirányú képzettséggel nem rendelkeztek, így képviselheték az átlagfogyasztókat. Egy vizsgálathoz tíz személyt (6 nő, 4 férfi; 24–62 éves kor) vontunk be, akiknek egyszerre 3 mintát kellett megvizsgálni egy laboratóriumi helyiségben. A vizsgálandó minta egy standard szeletből állt, egy darabban (a színelemzéshez) és egy kockára vágott hús szeletből az íz és az állomány vizsgálatához. A tesztelőknél 1-5-ös skálán kellett értékelniük többek között a hús színét világosság és sötétség szerint, ezek kombinációjából állt össze a Világosság-Sötétség kombinált 1-9 értékű paraméter. A bőrös húsminták esetében a bőrrel borított felületet vizsgáltuk. A válaszokat ezután elemeztük, összegeztük és összehasonlítottuk egymással.

Kolorimetriai vizsgálat

Az objektív színvizsgálathoz Konica Minolta CHROMA METER CHR-400 tristimulus színmérő rendszert használtunk. A berendezés a felület színét CIELAB értékekkel elemezte:

L* - fényerő, ahol a 100 érték a tökéletes fehér, és 0 teljes fekete

a* - vörösség, minél pozitívabb az érték, annál vörösebb a minta (negatív - zöld)

b* - sárgaság, ahol minél pozitívabb az érték, annál sárgább a minta (negatív - kék)

Tíz egyedi mérés történt a sütési paraméterek mindegyik kombinációjában, azonos külső fényviszonyok mellett minden alkalommal. A bőrös húsminták esetében a bőrrel borított felület színét határoztuk meg.

Salmonella-vizsgálat

A nyers, mesterségesen nem kontaminált húsból nyolc esetben 10 grammot vettünk az eredeti Salmonella szennyezés szintjének kimutatására, amelyet redoxpotenciál-méréssel végeztünk a tanszék Élelmiszer-mikrobiológiai Laboratóriumában. A redoxpotenciál-mérés során a kiindulási mintában lévő élő Salmonellák számát határoztuk meg egy Microtester redoxpotenciál-mérő berendezésben.

A nyers, mesterségesen nem szennyezett mintákból valós idejű PCR-vizsgálatot is végeztünk *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium* és *S. Infantis* szerotípusainak kimutatására. A felhasznált kitek

az összes *Salmonella enterica* szerotípus, illetve a három megkülönböztetett szerotípus kimutatására voltak alkalmasak.

A *S. Enteritidis* hőpusztulásának vizsgálatához mesterségesen szennyezett, ismert kontaminációs szintű mintákat kontaminált tápoldatban való áztatással állítottuk elő. Az áztatási idők 2 csoportban, 4-4 standard méretű mintával 4, illetve 16 órán át áztak. A *Salmonella* kimutatását ebben az esetben is a nyers, nem szennyezett mintákhoz hasonlóan redoxpotenciál-méréssel hajtottuk végre. Az így kapott szeleteket grilleztük, amely során a minták maghőmérsékletét maghőmérővel monitoroztuk. A sütés után ezekből vettünk 10 grammokat a feljebb leírtaknak megfelelő redoxpotenciál-méréshez.

Eredmények

Bőrös és bőr nélküli csirkemell- és csirkecombminták HCA tartalmának vizsgálata (1. kísérletsorozat)

A különböző csirkerészek vizsgálatakor bőr nélküli mell-, illetve húsminták HCA-tartalmát vetettük össze 150, 180 és 210 °C-os grillezés esetén.

A csirkemellben azt figyelhető volt, hogy a hőkezelés alacsony hőmérsékleten (150 °C) egyáltalán, és közepes hőmérsékleten, rövid idő alatt (180 °C 2,5 percig) sem váltott ki számottevő HCA-képződést, de az utóbbi a hőmérsékleten végzett 10 perces kezelés mellett már minden egyes HCA vegyület mérhető mennyiségben keletkezett, kivéve a harman. A 210 °C-on végzett grillezés során valamennyi kezelési időt követően az összes vizsgált HCA kimutatható volt, azonban koncentrációik jelentősen függtek az alkalmazott grillezés idejétől. A combminták esetében a harman előfordulása meghatározóbb volt, 5 perc hőkezelés után már 150 °C-on mérhető mennyiségben volt jelen. A többi HCA abszolút értéke általában alacsonyabb volt az azonos hőmérsékleten és időtartamon kezelt mellhúshoz képest.

A bőr jelenléte a csirkemell szeleteken kimutathatóan befolyásolta a vizsgált HCA-ok előfordulását. Már 150 °C-on mérési határ felett mértük több vegyület mennyiségét is (a MeIQx-en kívül mindegyikét). Ezzel szemben 210 °C-on is előfordult, hogy ez alatt az érték alatt maradt egyes aminok mennyisége, és az összes HCA koncentráció szintén alacsonyabb volt, mint a bőr nélküli csirkemell filé esetén. A többi hőmérséklet-idő kombináció esetén a bőrös mintából több HCA-t tudunk kimutatni, vagy nem mutatott szignifikáns eltérést a bőr nélkülihez képest.

A bőr és a grillezési eljárás hatásának vizsgálata a HCA-tartalomra csirkemellminták felszínén és mélyebb rétegeiben (2. kísérletsorozat)

A képződött HCA-ok mennyiségi és minőségi eloszlása az alkalmazott hőmérséklettől függően valamelyest különbözött egymástól. Míg 150 °C-on a termikus vegyületek, különösen a harman, voltak a leggyakrabban, legnagyobb mennyiségben kimutatott HCA-komponensek, magasabb hőmérsékleten a PhIP dominált: 230 °C-on 15 percig sütve a felület és a bőr teljes HCA-arányának több mint 50%-át tette ki. Kontakt (zárt) grillezés esetén a HCA-k mennyisége többnyire magasabb volt az azonos módon grillezett nyitott mintákhoz képest. A 150 °C-on és 190 °C-on 5 és 10 percig grillezett belső minták kevesebb HCA-t tartalmaztak a bőrös minták esetén. Magasabb hőmérsékleten és / vagy hosszabb ideig tartó grillezés során ez a tendencia

megváltozott. A bőr mindig több HCA-t tartalmazott, mint az azonos módon kezelt bőr nélküli húsfelszín.

A grillezett csirkemell színének és HCA tartalmának összefüggései

A kolorimetriás mérés paraméterei (L^* , fényerő; a^* , vörösség; b^* , sárgaság) közül az L^* és a^* kapcsolata mind a hőmérséklettel, mind az idővel megfigyelhető volt: az L^* csökkenő, az a^* növekvő trendet mutatott mindkét sütési paraméterrel. Az érzékszervi vizsgálatban az 5-ös érték volt a grillezés során elérendő, kívánt szín (aranybarna) kódja. A várakozásoknak megfelelően mind a hőmérséklet, mind a hőkezelés időtartama befolyásolta a grillezett hús színét. Az érzékszervi teszt eredményei megerősítik, hogy a nyitott grillezési módszer valóban enyhébbnek minősült, és a kapott pontértékek általában alacsonyabbak voltak, mint az ugyanolyan paraméterekkel, de zártan elkészített húsok esetén. A bőr jelenléte lassító hatást gyakorolt az égésre: a bőrös húsok pontozási értékei általában alacsonyabbak voltak a bőr nélküli ugyanazon eredményekhez képest.

A jelen kísérletek során három különféle adatsort hasonlítottunk össze: a kémiai HCA-elemzést, az érzékszervi színelemzést és a műszeres kolorimetriás elemzést azonos módon hőkezelt húsok esetén.

Az érzékszervi és az objektív színelemzés eredményeinek összevetése során kiderült, hogy az L^* (fényerő) és a^* (vörösség) index nagyon erős korrelációt mutat mindkét zárt és a nyitott bőr nélküli kombinációk esetén, a bőrös nyitott minták nem mutatták ezt az erős korrelációt, ahogyan a b^* (sárgaság) index sem.

Az objektív műszeres kolorimetriás eredmények és a hús HCA-tartalma közötti kapcsolat vizsgálata során az L^* és a^* bizonyult a leginkább figyelembe vehetőnek, különösen a bőrös zárt és a bőr nélküli nyitott grillezés esetén, mind a belső, mind a kérgi / bőr eredményeknél az összes HCA tekintetében. Zárt bőr nélküli módszerek esetén csak gyenge korrelációt lehetett kimutatni, és korreláció a bőrös nyitott kombinációnál egyáltalán nem volt detektálható. A HCA-tartalom és a b^* összefüggése csak bizonyos esetekben volt kimutatható, és soha nem volt erős korreláció.

A legtöbb esetben szoros összefüggést állapítottunk meg a szubjektív emberi színbírálat és a műszeresen mért HCA mennyisége között minden egyes HCA esetében, valamint a termikus, pirolitikus és az összes HCA csoportnál is.

A grillezés hatása a Salmonella Enteritidis hőpusztulására

Eredményeink szerint mind a nyolc kiskereskedelemben vásárolt, mesterségesen nem szennyezett minta mindegyike tartalmazott *Salmonellát*, és az egyik mintában *S. Typhimurium* szerotípust mutattunk ki. A két kontaminációs áztatási időtartam összehasonlításakor szignifikáns különbség nem volt kimutatható.

A nyitott bőrös sütés esetén 150 és 190 °C-on is még a kétoldali 15 perces sütés után is maradtak kórokozók, 230 °C-on viszont már 10 perc alatt teljes mértékben elpusztultak. Ezzel szemben a nyitott bőr nélküli sütés mindhárom hőmérsékleten már 10 perc után teljes *Salmonella* mentességet eredményezett, és már 5 perc után jelentősebb pusztulás volt kimutatható. A zárt sütések sokkal hatékonyabb pusztító hatást eredményeztek. A zárt bőrös sütés során 150 °C esetén még 15 perc után is mérhető mennyiségű élő mikroba volt a húspan (jóllehet a maghőmérséklet eddigre itt is elérte a 100 °C-ot). Ugyanakkor 190 és 230 °C sütésnél már 15 perc elegendő volt a teljes pusztuláshoz. A zárt bőr nélküli sütés minden hőmérsékleten már 5 perc után a szalmonellák teljes pusztulását idézte elő. A maghőmérsékletek a bőrös méréshez képest a rövidebb sütési idők esetén magasabbak voltak, de hosszabb sütési idők esetén ez a különbség fokozatosan csökkent.

Összefüggés a HCA-képződés és a Salmonella pusztulás között

Kémiai és mikrobiológiai eredményeinket a keletkező HCA, illetve a túlélő *Salmonella* baktériumok száma közötti korreláció vizsgálatával hasonlítottuk össze. A zárt, bőr nélküli sütés eredményei ilyen jellegű megfigyelésre alkalmatlanok voltak, mert minden hőmérséklet-idő kombinációnál teljes *Salmonella* pusztulást tapasztaltunk. A többi sütési kombináció esetében ugyanakkor vizsgálható volt a korreláció. A nyitott, bőr nélküli sütés negatív, de gyenge korrelációs értékeket mutatott, a bőrös minták eredményei viszont zárt sütésnél közepes, nyitott sütésnél pedig erős korrelációt mutattak. Azaz különösen a bőrös csirkemell grillezésekor a jelentős *Salmonella* pusztuláshoz szükséges hőmérséklet-idő kombináció egyúttal számottevő HCA-képződést indukál.

Megbeszélés

Bőrös és bőr nélküli csirkemell- és csirkecombminták HCA tartalmának vizsgálata (1. kísérletsorozat)

Összehasonlítva a csirkemell- és csirkecombfilé minták grillezése során kapott eredményeket ugyanazon hőmérsékleti és időbeli kombinációk alkalmazásával, azt tapasztaltuk, hogy a mell esetén a magasabb hőmérséklet fokozottabban növelte a HCA-képződést, mint combban. Az egyes HCA-ok közül a harman kivételével mindegyik mennyisége szignifikánsan magasabb volt a csirkemellben, mint a csirkecombban. Az össz-HCA mennyiségek különbsége a két hústípus között feltehetően annak is köszönhető, hogy a mellnek magasabb a fehérjetartalma. Az egyes HCA-ok arányának különbségei, illetve a keletkezési körülményeik eltérése a mell és a comb különböző aminosav-profiljával magyarázható.

Mind a hőmérséklet emelkedésével, mind a behatási idő hosszabbá tételével a húsminta nagyobb részén emelkedhet a hőmérséklet a HCA-képződés szempontjából kritikus szint fölé. Ez termikus HCA-ok esetén korábbi irodalmi adatok szerint 150 °C, pirolitikusok esetén 300 °C, de az újabb eredmények és a saját vizsgálatunk is kérdésessé ezeket a határhőmérsékleteket. Kísérleteink során a húsok leginkább átforrósodott pontja sem melegedhetett 230 °C fölé, mégis számos esetben mértünk harman és norharman koncentrációkat az LOQ felett

A bőr szerepe a kísérleteink eredményei alapján kettősnek bizonyult. Bőrrel vagy bőr nélkül grillezett mellminták esetén a bőr nélküli eredmények általában alacsonyabbak voltak a bőrrel borított minták eredményeinél. Ennek a jelenségnek az oka lehet a bőr magasabb zsírtartalma, amely a hőátadás fokozásával növelheti a HCA-termelést. A bőr eltérő fehérje-összetételéből adódhat az is, hogy az össz-HCA-mennyiség emelkedésén túl két vegyület, a MeIQx és a harman mennyisége volt kiugróan magasabb volt (3,5-szeres, illetve 2,3-szeres) a bőr nélküli mintákhoz képest. A bőr jelenlétének a megnövekedett HCA-termelésre gyakorolt hatása azonban nem minden kombinációban jelentkezett. Bizonyos esetekben, különösen a rövidebb kezelési idők esetén, megfigyeltük, hogy amíg a bőrben található zsiradék nem olvad ki, mintegy szigetelő hatást fejt ki és így a HCA-termelődéshez szükséges hő kevésbé éri el a fehérjében dúsabb szöveteket. A rövidebb időtartamú sütések során rendszerint alacsonyabb maghőmérsékletet mértünk a bőrrel borított minták esetén, ami megmagyarázhatja a HCA-képződés alacsonyabb sebességét.

A bőr és a grillezési eljárás hatásának vizsgálata a HCA-tartalomra csirkemellminták felszínén és mélyebb rétegeiben (2. kísérletsorozat)

A hőmérsékleten és az időtartamon kívül a bőr jelenléte vagy hiánya is mérhető hatást gyakorolt a keletkező HCA-k mennyiségére. A bőr kettős szerepének hipotézisét meg tudtuk erősíteni ezen kísérletek során is. Magában a bőrben a bőr nélküli felszíni értékekhez képest az esetek 2/3-ában mértünk magasabb össz-HCA mennyiséget. Ugyanakkor alacsonyabb hőmérsékleten és rövidebb ideig történő sütés után ez a tendencia megfordult, a bőr bizonyos szintig működő hőszigetelő hatása magyarázatot adhat a csökkent HCA-képződésre.

A kétféle grillezési mód (zárt és nyitott) összehasonlítása során azt tapasztaltuk, hogy a zárt grillezés során az esetek többségében fokozódott a HCA-szint emelkedése a nyitott grillezéshez képest, ami valószínűleg az egyszerre két irányból érkező hőhatás és a rendszer zártsága miatti csökkentett hővesztésnek volt köszönhető.

Várakozásainknak megfelelően a PhIP volt a csirkehúsra legjellemzőbb HCA, főként magasabb kezelési hőmérsékleteken, az általunk vizsgált vegyületek közül. Ez összhangban áll az irodalmi adatokkal. Ez a termikus HCA 2B kategóriájú, lehetséges rákkeltő anyag az IARC listán; következésképpen magas koncentrációja veszélyt jelenthet a fogyasztókra. Aránya a többi HCA-hoz képest különösen a bőrben volt magas. A PhIP-en kívül a ko-karcinogén pirolitikus aminok, közülük is főként a harman szintje volt magas.

A kémiai kockázat becslése és értékelése

A kémiai kockázat mértékét a PhIP koncentrációjának értékelésével jellemeztük.

A mért HCA-koncentrációk toxikológiai jellemzéséhez a baromfihús-fogyasztási adatokat, az általunk mért HCA mennyiségeket és az állatkísérletekben során megfigyelt, 10%-os valószínűséggel rákkeltő hatással bíró küszöbdózis (BMDL10) értékeket vettük figyelembe. Kockázatbecslésünk eredményei arra utalnak, hogy a legnagyobb biztonság elve alapján a 230 °C-on, 15 percig végzett grillezés során keletkező PhIP mennyisége a prosztata- és az emlődaganatok tekintetében kockázatot jelenthet a fogyasztóra nézve mindhárom vizsgált ország (Izrael, USA, Magyarország) esetében. A 230 °C-on, 10, illetve 5 percig végzett grillezés során a MOE (Margin of Exposure) érték kockázatot jelez a prosztata és a 10 perces sütési eljárás az emlő esetében is a két „nagyfogyasztó” országban, azaz Izraelben és az USA-ban.

A grillezett csirkemell színének és HCA tartalmának összefüggései

Vizsgálatainkhoz a konkrét szenzoros színmeghatározást alkalmaztunk, és ezt ötvöztük a műszeres méréssel, melyek kombinációjával a szubjektív-objektív színmérést egymással és a

minta HCA-tartalmával is összehasonlíthatóvá tettük. A színérés értékelése így három formában zajlott: érzékszervi – műszeres, érzékszervi – toxikológiai, műszeres – toxikológiai. A műszeres mérés L^* és a^* paraméterei többnyire nagyon erős kapcsolatot mutattak az érzékszervi pontozással. Az L^* esetén pozitív korrelációt tapasztalhattunk, míg az a^* értékek negatív korrelációban álltak az érzékszervi pontrendszerével. Ezekből az eredményekből arra következtethetünk, hogy a hús színváltozása a sütés során főként a világosság és a vörösség skálán változik és ezeket a változásokat az emberi szem is hasonlóan érzékeli.

A HCA-tartalom és a színelemzés eredménye közötti kapcsolat feltételezésénél az érzékszervi teszt a legmagasabb pontszámot és a legerősebb korrelációt mutatta a mért HCA-tartalommal, amelyet az L^* és az a^* értékek követtek, a b^* korreláció gyengének bizonyult. A jelen vizsgálatok eredményei alapján a csirkemell felszínének színe hasznos mutatója lehet a különböző hőmérsékleten és időben történő grillezés során képződött HCA-tartalomnak.

A grillezés hatása a Salmonella Enteritidis hőpusztulására

Vizsgálataink eredményei szerint a grillezés hatékony hőkezelési módszer a *S. Enteritidis* elpusztítására. Ugyanakkor fontos a megfelelő hőmérséklet-idő kombináció megválasztása, mivel ahogy az várható volt, a magasabb hőmérséklet és a hosszabb időtartamú hőkezelés kifejezettebb baktériumpusztulást okoz.

A zárt kontakt grillezés, feltehetően a jobb hőtartás miatt, a baktériumok gyorsabb pusztulását idézte elő. A bőr ugyanakkor hőszigetelő réteget képezhet, amely hosszabb ideig tartja a hőmérsékletet alacsonyabban, és ezáltal elősegítheti a *Salmonella* túlélését a húsban. Az elimináció sebességének meghatározása során azonban a görbék meredeksége közötti különbség nem tükrözte teljes mértékben a szakirodalom alapján várt pusztulási időt, ami abból is adódhat, hogy a sütőlemez hőmérséklete nem felel meg a minta maghőmérsékletének.

A toxikológiai és mikrobiológiai élelmiszer-biztonság, valamint az érzékszervi szempontok együttes értékelése grillezett baromfihús esetén

A mikrobiológiai élelmiszer-biztonság szempontjából a magasabb hőmérséklet-idő kombinációval végzett hőkezelés előnyösebb. Ugyanakkor magasabb hőmérsékleten és hosszabb időn keresztül végzett hőkezelés során megnő a keletkező rákkeltő hatású heterociklikus aminok mennyisége. Ezen kívül figyelemmel kell lennünk a grillezett hús érzékszervi tulajdonságaira is. Korábbi vizsgálataink során ugyanis azt, hogy a hús színe mind

gépi, mind érzékszervi vizsgálat alapján összefüggésbe hozható a HCA-tartalommal, így megfelelő tájékoztatással a lakosság körében csökkenthető lehet ezen karcinogének felvétele. Vizsgálataink eredményei alapján az elektromos grillezés esetén a HCA és a *S. Enteritidis* által modellezett ételmiszer-higiéniai kockázatot a következő szempontok figyelembevételével lehet csökkenteni:

- Bőr nélküli sütés: a bőr védelmet nyújthat a kórokozók számára a hús belsőbb rétegeiben, emellett magasabb hőmérsékleten a kiolvadó zsírok hatására fokozhatja a külsőbb (de nemcsak a felszíni) rétegek hőátvételét, ezzel együtt a HCA-képződést is.
- Alacsonyabb sütési hőmérséklet, hosszabb sütési idő: 150 °C-on még hosszabb sütési idő során, a kérگی rétegben sem figyeltünk meg magas HCA-szinteket, 190 °C-on pedig az átlagolt minták MOE értékei 15 perc után is 10000 alatt maradtak. Ugyanakkor a nyitott, de különösen a bőrös sütés esetén nehéz elérni a *Salmonella* pusztuláshoz szükséges biztonságos maghőmérsékletet. Egyidejűleg az alacsony hőmérsékleten végzett grillezés során a hús érzékszervi jellemzői sem felelnek meg a fogyasztói elvárásoknak.
- Kontakt grillezés: a HCA-ok keletkezése főként a hús és a sütőlap érintkezési felületén történik, amely nyitott és zárt (kontakt) grillezés esetén is hasonló mértékben fennáll. Ezzel együtt a *Salmonella* pusztulása sokkal inkább a maghőmérséklet függvénye, ami viszont a zárt rendszerben, kisebb környezeti hőveszteség mellett gyorsabban növelhető. A kontakt grill tehát rövidebb idő alatt mikrobiológiailag biztonságosabb termék előállítására képes. Ezzel párhuzamosan nem találtunk szignifikáns különbséget az azonos körülmények között grillezett zárt-nyitott párosítások között a bennük keletkezett HCA-mennyiség tekintetében. Ennek oka feltehetően két tényezőtől adódhat össze, egyrészt a sütőlap hőmérsékletét a nyílt sütés sem csökkentti jelentősen, valamint a minták összességében kétszer annyi időt töltöttek a sütőlapon (zárt minták esetén a két oldal egyszerre kapta a hőkezelést, nyitottaknál külön-külön).
- Színváltozás: Az érzékszervi színvizsgálat eredményei a méréseink szerint erős korrelációt mutatott a mintáink HCA-tartalmával. Ezért a fogyasztók a grillezett hús színéből következtethetnek az abban található rákkeltő aminok mennyiségére. Ezért fontos felhívni a lakosság figyelmét arra, hogy a túlsütés milyen veszélyeket rejt magában, valamint arra, hogy ez a veszély érzékszervileg felismerhető.

A kémiai HCA-méréseink eredményeit összevetve a mikrobiológiai, *Salmonella* pusztulási vizsgálatainkkal negatív korrelációt találtunk a keletkezett karcinogének és a túlélő baktériumok száma között.

Új tudományos eredmények

1. Magyarországon elsőként írtuk le a rákkeltő HCA-ok keletkezését befolyásoló alapvető tényezőket baromfihúsban.
2. Elsőként vizsgáltuk egyidejűleg a grillezés hőmérséklet – idő kombinációjának hatását a HCA-ok képződésére, a baromfihús érzékszervi tulajdonságaira és a *Salmonella* pusztulás mértékére.
3. Elsőként vizsgáltuk a korrelációt az érzékszervi vizsgálatok, a műszeres színelemzés és a grillezett baromfihús-minták heterociklikusamin-tartalma között.
4. Elsőként vizsgáltuk a korrelációt a HCA-képződés és a *Salmonella* pusztulás mértéke között különböző körülmények között végzett grillezés során baromfihúsban.

Az értekezés témájában közzétett publikációk

Lektorált, impakt faktorral bíró tudományos folyóiratban megjelent/elfogadott publikációk:

LACZAY P., LÁNYI K., LEHEL J., PLEVA D.: A vörös húsok és húskészítmények feldolgozása, előállítása, illetve otthoni sütése, főzése során keletkező rákkeltő anyagok. Magyar Állatorvosok Lapja, 2017., 139. 105-116.

LEHEL J., LÁNYI K., PLEVA D., LACZAY P.: Természetes eredetű élelmiszer-összetevők toxikus hatásai. Magyar Állatorvosok Lapja, 2018. 140. 239-250.

PLEVA D., LÁNYI K., DARNAY L., LACZAY P.: Predictive Correlation between Apparent Sensory Properties and the Formation of Heterocyclic Amines in Chicken Breast as a Function of Grilling Temperature and Time. Foods, 2020. 9. 412. 1-16.

PLEVA D., LÁNYI K., MONORI K. D., LACZAY P.: Heterocyclic amine formation in grilled chicken depending on body parts and treatment conditions. Molecules, 2020. 25. 1547-1556

PLEVA D., DEBRECZENI D., LÁNYI K., MONORI K. D., LACZAY P.: Az aszkorbinsav hatása a rákkeltő heterociklikus aminok keletkezésére grillezett csirkemellben. Magyar Állatorvosok Lapja, 2020. 142. 313-319.

PLEVA D., SZAKMÁR K., TŐZSÉR D., SWEENEY R., DOMAK A., LACZAY P.: Kiskereskedelmi forgalomban kapható csirkehúsok Salmonella-szennyezettségének és a Salmonella Enteritidis grillezés közbeni hőpusztulásának vizsgálata. Magyar Állatorvosok Lapja, 2020. 142. 681-688.

Lektorált, impakt faktorral nem bíró tudományos folyóiratban megjelent/elfogadott publikációk:

PLEVA, D., LÁNYI, K., OLÁH, B., LACZAY, P.: Study on the Consumers' Habits for Meat Preparation in the Light of Cancer Hazards. Approaches in Poultry, Dairy & Veterinary Sciences, 2019. 6. 591-592.

Konferencia prezentációk:

PLEVA D., LACZAY P., LÁNYI K.: Az otthoni sütési-főzési eljárások hatása a baromfihúsok kémiai és mikrobiológiai biztonságára. Akadémiai beszámolók, 2017

PLEVA D., LACZAY P., LÁNYI K.: Az otthoni sütési-főzési eljárások hatása a baromfihúsok mikrobiológiai biztonságára. Akadémiai beszámolók, 2018.

LÁNYI K., DONOHOE S., PLEVA D., LACZAY P.: Red meat and polyaromatic hydrocarbons: a consumers' attitude study in the light of cancer hazards. SenseAsia 2018 The 3rd Asian Sensory and Consumer Research Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 2018.

PLEVA D., LÁNYI K., LEHEL J., DARNAY L., LACZAY P.: Potenciálisan rákkeltő hatású heterociklusos aminok keletkezése grillezett csirkehúsban. TOX'2018 Tudományos Konferencia, Lillafüred, 2018.

GREANY S., LÁNYI K., PLEVA D., LACZAY P.: Rákkeltő heterociklusos aminok keletkezése étolajokban és étkezési zsírokban. TOX'2018 Tudományos Konferencia, Lillafüred, 2018.

PLEVA D., LÁNYI K., SZAKMÁR K., TŐZSÉR D., LACZAY P.: Grillezett csirkecomb és csirkeszárny minták kémiai és mikrobiológiai változásai különböző sütési hőmérséklet – idő kombinációk hatására, Akadémiai beszámolók, 2019.

LÁNYI K., PLEVA D., SZIJJÁRTÓ J., HOPPE C., LACZAY P.: Heterocyclic amine content of vegetable oils after preparing various foods, Elsevier 2nd Food Chemistry Conference, Sevilla, Spanyolország, 2019.

PLEVA D., LÁNYI K., LACZAY P.: Heterociklikus aminok képződése grillezett csirkehúsban a testtájék és a hőkezelési körülmények függvényében, Akadémiai beszámolók, 2020.