

# DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**Keppelné Bognár Erzsébet**

Budapest

2020



**SZENT ISTVÁN EGYETEM**

ÉLELMISZERTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

**DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**MCPD- és glicidil-észterek képződésének vizsgálata  
magolajok finomítási és konyhatechnikai hőkezelései  
során**

**KEPPELNÉ BOGNÁR ERZSÉBET**

**BUDAPEST**

**2020**

**A doktori iskola**

**megnevezése:** Élelmiszertudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Élelmiszertudományok

**vezetője:** Simonné Dr. Sarkadi Livia  
Egyetemi tanár  
Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar  
Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi Tanszék

**Témavezető:** Dr. Somogyi László  
Egyetemi docens  
Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar  
Gabona és Iparinövény Technológia Tanszék

**Szakmai témavezető:** Dr. Hellner Gabriella  
Folyamatfejlesztési mérnök  
Bunge Zrt., Kővári Katalin Innovációs Központ

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## 1 A MUNKA ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

A növényolajiparban az utóbbi évtizedben kiemelkedő figyelmet kapott a 3-monoklór-1,2-propándiol zsírsavészterek (3-MCPD-észterek) és a glicidil-zsírsavészterek (GE) kérdése. Első kimutatásuk óta beigazolódott, hogy mindkét komponenscsoport képződése a növényolaj finomítási eljárás dezodorálási lépéséhez köthető, mivel ebben a folyamatban biztosítottak a hőmérsékleti feltételek. Az eddigi kutatások elsősorban háromféle kérdéskör köré csoportosultak: a képződési mechanizmus, a csökkentési lehetőségek és az analitikai fejlesztések. Ezekből a tudományos eredményekből fény derült többek között a prekursorokra és csökkentési lehetőségeikre, mely olajok és zsírok kritikusak a képződés szempontjából, mely dezodorálási paraméterek befolyásolhatják a képződést, illetve a kialakult komponenseket milyen módszerekkel lehet utólagosan eltávolítani az olajból. Az analitikai módszerek fejlődése pedig folyamatosan támogatja mind a kutatási, mind a gyakorlati minőségbiztosítási oldalt.

A 3-MCPD-észterek és GE jelenléte nem csak a végső fogyasztóhoz eljutó étolajokban jelent problémát, hanem az egyéb, étolajokat és zsírokat alapanyagként felhasználó élelmiszeripari ágazatokban is. Hosszas értékelési folyamat eredményeképpen az Európai Unió határértéket szabott meg a felhasználás függvényében, különös tekintettel a csecsemőtápszerekre és a fiatalabb korcsoportnak szánt élelmiszerekre. A határértékek betartása egyrészt a finomított étolajjal bekerülő szennyezők miatt, másrészt pedig az endogén képződést lehetővé tevő technológiai lépések – ipari sütési technológiák – miatt jelenthet problémát.

Emellett a végső fogyasztónak szánt étolajok is találkozhatnak a 3-MCPD-észterek és GE képződését biztosító hőmérséklettel a konyhai gyakorlat során. Ilyen például az olajban sütés is, amelynek hőmérséklete 150-190 °C. A sütési rendszer összetétel szempontjából nagyon komplex, tartalmazhat olyan komponenseket is, amelyek egyes reakciókat katalizálnak, és ennek köszönhetően a képződéshez szükséges kritikus hőmérsékletet – például a GE képződés esetén a 200 °C-os küszöbhőmérsékletet – csökkenthetik. Ráadásul a sült termék összetettségén túl a légköri oxigén is részt vesz a magas hőmérsékleten zajló folyamatban, ezért a lejátszódó reakciók rendszere is komplex, számtalan közti termék és reakciótermék létrejöttét biztosítva.

Doktori dolgozatomban célul tűztem ki ezeknek a technológiai szennyezőanyagoknak a vizsgálatát kifejezetten magolajokban. Ez egyrészt a dezodorálási művelet laboratóriumi vizsgálatát, másrészt különböző klórtartalmú vegyületek hatásának megfigyelését jelenti sütési hőmérsékleten zajló hevítési kísérletek keretein belül.

Tervezett részfeladatok:

### **Dezodorálás folyamata**

- Különböző derített magolajok dezodorálása és összehasonlítása az alapanyag függvényében
- Az idő és hőmérséklet hatásának vizsgálata az MCPD-észterek és GE képződés szempontjából

### **Hevítés folyamata**

- Hagyományos napraforgóolaj és nagy olajsavtartalmú napraforgóolaj összehasonlítása MCPD-észter és GE képződés szempontjából
- Különböző klórtartalmú sók hatásának vizsgálata az MCPD-észter képződés szempontjából
- $\text{FeCl}_3$  küszöbkoncentrációjának meghatározása  $180\text{ }^\circ\text{C}$ -on a 3-MCPD-észterekre és GE-re vonatkozó határértékek alapján
- A hőmérséklet hatásának vizsgálata  $0,1\%$   $\text{FeCl}_3$  adagolása mellett az MCPD-észterek és GE képződésének szempontjából

### **Derítés folyamata**

- MCPD-észterek és GE képződésének vizsgálata derítési körülmények között  $0,1\%$   $\text{FeCl}_3$  adagolása mellett

### **Sütés folyamata**

- Valódi sütési körülmények között végzett kísérletek során képződő MCPD-észterek és GE mennyiségi vizsgálata

## 2 ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### *Dezodorálás*

A dezodorálási kísérletekben a három legnagyobb mennyiségben előállított magolajat – napraforgó-, repce- és szójaolajat – használtam fel alapanyagként. Az iparilag derített olajokat laboratóriumi dezodoráló rendszerrel dezodoráltam a következő paraméterek alkalmazásával:

- Olaj mennyisége: 180 g
- Hőmérséklet: 220/230/240/250/260°C
- Mintavétel: 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 és 180 percnél
- Maradék nyomás: 3-4 mbar
- Dobáló gáz: N<sub>2</sub>

A GE eredményeket 3<sup>2</sup> típusú teljes faktoriális kísérlettervként is értékeltem.

### *Hevítési kísérletek klórforrás jelenlétében*

A hőkezelések laboratóriumi körülmények között 2-2 párhuzamos kísérletben valósultak meg, főzőpohárban, fűthető mágneses keverő (lassú, 250 rpm) segítségével. A hőmérsékletet a teljes kísérleti idő alatt figyelemmel kísértem és rögzítettem. A vizsgált klórtartalmú sók:

- 3% NaCl – nátrium-klorid, konyhasó
- 3% KCl – kálium-klorid, analitikai tisztaságú (Merck Kft.)
- 3% CaCl<sub>2</sub> – kalcium-klorid, analitikai tisztaságú (Merck Kft.)
- 0,1% NH<sub>4</sub>Cl – ammónium-klorid, analitikai tisztaságú (Merck Kft.)
- 0,1% FeCl<sub>3</sub> – vas(III)-klorid, analitikai tisztaságú (Merck Kft.)

A kísérletterv I. blokkjában nagy olajsavtartalmú (HOSO) és hagyományos napraforgóolajjal végeztem kísérleteket. Ennek célja a kétféle olaj, valamint az ötféle klórtartalmú só hatásának összehasonlítása volt 180 °C-on.

A II. blokkban HOSO olajban a FeCl<sub>3</sub> koncentrációjának hatását vizsgáltam 0,001-0,5% között 180 °C-on.

A III. blokkban HOSO olajban 0,1% FeCl<sub>3</sub> adagolása mellett a hőmérséklet hatását vizsgáltam 130-180 °C között.

### *Derítés*

Az előviasztalanított, mosott napraforgóolajat laboratóriumi derítő rendszerrel derítettem, 2-2 párhuzamos kísérletben. Paraméterek:

- Olaj mennyisége: 100 g
- Hőmérséklet: 100/110 °C
- Derítőföld, adagolás: Tonsil 112 FF (savaktivált), 0,5%

- Derítési idő: 30 perc
- FeCl<sub>3</sub> adagolás: 0,1%

### ***Sütés***

A sütési kísérletek laboratóriumi körülmények között valósultak meg, főzőpohárban, fűthető mágneses keverő segítségével HOSO olajban. Paramétereit:

- Olaj mennyisége: 200 g
- Hőmérséklet: 160 °C
- Sütött termékek: gyorsfagyasztott panírozott sertéskaraj és csirkemáj
- Ciklusok száma, ideje: 3 ciklus, 5 perc
- Sütött termék/olaj aránya: 1/15

### ***MCPD- és glicidil-észterek meghatározása – AOCS 29b-13 módszer***

Az MCPD- és glicidil-észterek mennyiségi meghatározását az AOCS által elfogadott indirekt módszerrel végeztem. A hidrolízis híg lúgos körülmények között, -22 °C-on megy végbe. A hidrolízist követően a foszforsavval savanyított nátrium-bromid oldattal semlegesítjük a mintát, illetve a zsírsavészterekből felszabadított glicidol ebben a lépésben alakul át 3-monobrom-propándiollá. Izohexános tisztítást követően kétlépcsős folyadék-folyadék extrakcióval visszük szerves fázisba (etil-acetát) a mérendő komponenseket. Illékony származék kialakításához fenilbórsavat adagolunk. Az analitikai mintát végül heptánban oldjuk fel.

Deuterált belső standardok:

- A minta (GE meghatározás): glicidil-d<sub>5</sub>-palmitát, 3-MCPD-d<sub>5</sub>
- B minta (2- és 3-MCPD észterek meghatározása): 2-MCPD-d<sub>5</sub>-palmitát, 3-MCPD-d<sub>5</sub>-palmitát

GC-MS paraméterek:

- Kapcsolt rendszer típusa: Agilent 6890 – GC, 5973 – MS
- Oszlop típusa: Ultra Inert DB-35MS (35% fenil-metil sziloxán 30 m×0.25 mm×0.25 µm)
- Vivőgáz: hélium 5.0 (1,2 ml/perc)
- MS üzemmód: SIM
- Injektálás: 2 µl automata mintavevővel, splitless mód
- Gradiens hőmérsékletprogram

### 3 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

#### *Dezodorálás*

A dezodorálási kísérletek során kapott eredmények 3-MCPD-észterek tekintetében a szója- és a napraforgóolaj mutatott hasonlóságot, mindkét olaj esetén a szennyezőanyag koncentrációjának maximum értéke 0,4 mg/kg volt. A repceolajban ezzel szemben csak 260 °C-on érte a koncentráció a mennyiségi meghatározási határt (LOQ=0,1 mg/kg). A 3-MCPD-észterek döntő hányada már a folyamat elején, a felmelegítési periódusban, valamint a dezodorálási idő első 15-45 percében kialakult. A 2-MCPD-észterek mennyisége csak a magasabb hőmérsékleteken, 250 és 260 °C-on haladta meg az LOQ értéket a napraforgó- és a szójaolaj esetén, míg a repceolajban egyik hőmérsékleten sem érte el. Ezek alapján a vizsgálatba vont derített repceolajban a prekursorok mennyisége igen csekély lehetett. A 3- és 2-MCPD-észterek kiszámított aránya a napraforgóolaj esetén a dezodorálási idő előrehaladtával egyértelmű csökkenést mutatott, míg a szójaolaj esetén inkább stagnáltak.

A glicidil-észterek mennyiségét vizsgálva a repce- és a napraforgóolaj hasonló eredményeket mutatott, rendre 1,6 és 1,4 mg/kg maximális értékekkel. Ezzel szemben a szójaolajban 260 °C-on lényegesen nagyobb mennyiségű (5,5 mg/kg) GE képződött 180 perc alatt, ami a minta nagyobb mono- vagy diglicerid tartalmára, azaz a prekursorok jelenlétére vezethető vissza. 230 °C-on mindhárom olaj esetén 0,5 mg/kg alatt maradt a GE mennyisége 90 percig, ami alapján 240 °C körül lehet a kritikus hőmérséklet a magolajok esetén. Teljes faktoriális kísérlettervként az idő és a hőmérséklet hatását (mint független tényezők), valamint kölcsönhatásaikat varianciaanalízissel vizsgáltam. Mindhárom magolaj esetén a hőmérséklet hatása volt az elsődleges, az idő inkább magasabb hőmérsékleteken volt jelentős.

#### *Hevítési kísérletek klórforrás jelenlétében*

A hevítési kísérletek I. blokkjának középpontjában a kétféle olaj (hagyományos és nagy olajsavtartalmú napraforgóolaj/HOSO/) és az ötféle klórforrás (NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, FeCl<sub>3</sub>) hatásának összehasonlítása állt. A hagyományos és HOSO olaj esetén a kapott eredmények között nem volt szignifikáns eltérés (p=0,13), ezért a további hevítési kísérleteimet HOSO olajjal folytattam.

A különböző klórsók jelenlétében végzett kísérletekben különböző mennyiségben képződtek a vizsgált komponensek a só milyenségétől függően. Az MCPD-észterek képződését mindegyik só katalizálta. A klór beépülésének aránya alapján a sók katalizáló hatásának sorrendje a következő: FeCl<sub>3</sub> >> NH<sub>4</sub>Cl > CaCl<sub>2</sub> > KCl > NaCl. Kiemelkedő a FeCl<sub>3</sub> katalizáló hatása: 0,1%-os adagolás mellett a 8 órás 180 °C hevítés során 242 mg/kg mennyiségű 3-MCPD-észter képződött. A 2- és



3-MCPD-észterek képződésének dinamikája különbözik egymástól az eredmények alapján. A 3-MCPD-észterek képződése – ahogyan a dezodorálási kísérletek során is – a legtöbb klórforrás jelenlétében a hevítési idő első felében volt jelentős: koncentrációja 2-4 órát követően maximum értéket ért el, majd csökkent vagy stagnált. Ezzel szemben a 2-MCPD-észterek mennyisége a teljes hevítési idő során folyamatos növekedést mutatott. A 3/2-MCPD-észterek aránya a reakcióidő előrehaladtával jellemzően csökkent, míg az összes MCPD-észterek mennyisége a reakcióidő felétől stagnált. Ennek hátterében a glicerinvázon lévő szénatomok eltérő hozzáférhetősége állhat. Az sn-2 pozícióban lévő szénatom kevésbé reakcióképes, viszont itt a klór kötődése stabilabb lesz. A klór először a könnyebben támadható sn-1 és sn-3 szénatomokra tud kapcsolódni, ezért a hőkezelés elején a 3-MCPD-észterek koncentrációjának növekedése gyorsabb.

Annak ellenére, hogy a klór nem prekuzora a GE-nek, képződését a NaCl kivételével mindegyik só katalizálta, a következő sorrendben:  $\text{FeCl}_3 > \text{CaCl}_2 > \text{NH}_4\text{Cl} > \text{KCl}$ . A GE esetén is a  $\text{FeCl}_3$ -nak volt a legnagyobb katalizáló hatása.

A hevítési kísérletek II. blokkjában a vas(III)-klorid adagolásának (0,001-0,5%) hatását vizsgáltam a szennyezőanyagok képződésére vonatkozóan. A kísérleti eredmények alapján a kisebb adagolások esetén (0,005-0,05%) a klór 3-MCPD-észterekbe való beépülésének százalékos aránya alacsonyabb volt, jellemzően 5-7% közötti. A nagyobb adagolások esetén (0,2-0,5%  $\text{FeCl}_3$ ) a klórnak közel 30%-a volt képest 3-MCPD-észterbe beépülni. A 3/2-MCPD-észterek aránya a korábbi eredményekkel összhangban a reakcióidő előrehaladtával csökkent, de a kezdeti érték ( $T_0$  időpontban, azaz a célhőmérséklet elérésekor), valamint a csökkenés mértéke a  $\text{FeCl}_3$  koncentrációval összefüggést mutatott. A nagyobb adagolásoknál az arány  $T_0$  időpontban magasabb volt, és a 2 órás hevítés végére alacsonyabb lett, mint a kisebb adagolású kísérletek esetén.

Az  $\text{FeCl}_3$  küszöbkoncentrációjának megállapításhoz a 2021 januártól érvényes 1,25 mg/kg-os határértéket vettem alapul a 3-MCPD-észterekre vonatkozóan. Mivel ezt az értéket a 3-MCPD-észterek koncentrációja a kísérleteim során minden esetben átlépte, empirikus úton nem tudtam meghatározni. A küszöbkoncentráció becslését kétféle módon végeztem el. Az egyikhez a kisebb  $\text{FeCl}_3$  adagolások esetén (0,005-0,05%) számolt klór konverziós arányok szélső értékeit használtam fel, amellyel egy koncentráció-tartományt tudtam meghatározni. Ugyanezeknél az adagolásoknál a 1 és 2 órát követően jó közelítéssel lineáris kapcsolatot lehet felírni a 3-MCPD-észterek koncentrációja és az adagolt  $\text{FeCl}_3$  között. Az így kapott regressziós egyenesek egyenletének segítségével számítottam ki a  $\text{FeCl}_3$  küszöbkoncentrációját, az eredmények az 1. táblázatban találhatóak.

A GE képződésére a hatályos határérték figyelembevételével (1 mg/kg) a  $\text{FeCl}_3$  küszöbkoncentrációját sikerült kísérleti úton meghatározni. A 0-0,05% közötti

adagolások esetén szintén jó lineáris kapcsolat áll fent, ezért a regressziós egyenesek egyenletének segítségével az 1 és 2 órás hevítési idő esetén kiszámítottam a  $\text{FeCl}_3$  küszöbkonzentrációját. Az értékek az 1. táblázatban olvashatók.

**1. táblázat  $\text{FeCl}_3$  küszöbkonzentrációja 3-MCPD- és glicidil-észterek képződésére vonatkozóan**

Idő (óra)	3-MCPD-észterekre vonatkozó $\text{FeCl}_3$		GE-re vonatkozó $\text{FeCl}_3$
	küszöbkonzentráció (mg/kg)		küszöbkonzentráció (mg/kg)
	Klórkonverzió alapján	Regressziós egyenes alapján	Regressziós egyenes alapján
1	10,9-12,4	10,2	123,7
2	8,7-11,1	9,5	101,2

A hevítési kísérletek III. blokkjában a hőmérséklet hatását vizsgáltam 0,1%  $\text{FeCl}_3$  adagolás mellett 130-180 °C között, a mintavételezés 15 percenként történt 1 órán keresztül. A választott hőmérséklettartomány egyrészt a szokásos sütési hőmérsékleteket, másrészt a 3-MCPD-észterek dezodorálási körülmények között tapasztalt küszöbhőmérsékletét (~140 °C) fedi le. A 3-MCPD-észterek mennyisége 130 °C-on a felmelegítési periódusban 22 mg/kg koncentrációt ért el, ezért megállapítottam, hogy 0,1%  $\text{FeCl}_3$  adagolásával a vizsgált hőmérséklet-tartományban a 3-MCPD-észterek koncentrációja mindenképpen határérték felett van. Az eredmények alapján 3/2-MCPD-észterek aránya és időbeli változása függ a hőmérséklettől. A két komponenscsoport aránya 165 °C-ig az 1 órás hevítési idő során stagnált, míg 170-180 °C között az idő előrehaladtával csökkent.

A GE koncentrációja az 1 mg/kg-os határértéket már 130 °C-on a felmelegítési periódusban átlépte, ezért megállapítottam, hogy 0,1%  $\text{FeCl}_3$  adagolásával a vizsgált hőmérséklet-tartományban a GE koncentrációja mindenképpen határérték felett van.

### ***Derítés***

A hevítési kísérletek során kapott eredmények szerint már 130 °C-on is jelentős mennyiségű szennyezőanyag képződött 0,1%  $\text{FeCl}_3$  jelenlétében, ezért a növényolaj-finomítás során a működési hőmérséklet szempontjából második helyen álló derítés folyamatát is érdemes megvizsgálni. A 3-MCPD-észterek koncentrációja 100 és 110 °C-on is meghaladta a határértéket mind a hevítési kísérletekben (0,1%  $\text{FeCl}_3$ ), mind a laboratóriumi derítőrendszerrel végzett derítési kísérletekben (0,1%  $\text{FeCl}_3$  és 0,5% aktivált derítőföld). Az atmoszférikus környezetben a 3-MCPD-észterek koncentrációja körülbelül kétszerese volt a

derítés során képződő mennyiségeknek. Ebből következően a 3-MCPD-észterek képződésében a légköri oxigén jelenléte is szerepet játszhat, a  $\text{FeCl}_3$  által katalizált számos reakcióban képződő intermedierek, akár oxidációs köztitermékek reakcióba léphetnek a  $\text{FeCl}_3$  klórával.

Ezeken a hőmérsékleteken a GE képződése visszaszorult, mindegyik kísérletben határérték alatt maradt a koncentrációja.

### ***Sütés***

A sütési kísérleteket közepes sütési hőmérsékleten, 160 °C-on végeztem. Az olajban a 3-MCPD-észterek koncentrációja a sertéskaraj sütése során érte el a legmagasabb értéket a 3. ciklus után (0,52 mg/kg), a csirkemáj sütésekor az értékek valamivel alacsonyabbak voltak. Az 1% NaCl-dal végzett hevítési kísérlet során a 3. ciklus végére 0,14 mg/kg 3-MCPD-észter képződött. A statisztikai próbák (páros t-próbák) szerint az 1% só és a sertéskaraj ( $p=0,016$ ), valamint az 1% só és a csirkemáj ( $p=0,004$ ) eredményei szignifikánsan eltérnek egymástól, viszont a sertéskaraj és a csirkemáj sütése között nem volt szignifikáns különbség ( $p=0,29$ ). Az eredmények bizonyítják, hogy a konyhasó önmagában nem elegendő a 3-MCPD-észterek számottevő növekedéséhez.

Az előfagyasztott termékek sütése során kapott eredmények még jóval a 2021-re bevezetett határértékek alatt vannak. A sült termékek átlagos olajfelvételével számolva ezek a 3-MCPD-észter koncentrációk kis kockázatot jelentenek a fogyasztókra nézve.

A GE koncentrációja a kezelésektől függetlenül 0,26 és 0,33 mg/kg közötti értékeket mutatott, tendencia nélkül.

## 4 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Bizonyítottam, hogy a klórforrások jelenlétében az MCPD-észterek képződése végbemegy, a katalizáló hatás sorrendje a következő:  $\text{FeCl}_3 > \text{NH}_4\text{Cl} > \text{CaCl}_2 > \text{KCl} > \text{NaCl}$ .
2. Megállapítottam, hogy a GE képződését a NaCl kivételével mindegyik só katalizálja a következő sorrend szerint:  $\text{FeCl}_3 > \text{CaCl}_2 > \text{NH}_4\text{Cl} > \text{KCl}$ .
3. Igazoltam, hogy a 2- és 3-MCPD- észterek képződésének dinamikája egymástól eltér: a 3-MCPD-észterek koncentrációja a hőkezelések kezdeti fázisában növekszik, majd stagnál vagy csökken, míg a 2-MCPD-észterek mennyisége folyamatosan növekszik.
4. Küszöbkoncentrációt állapítottam meg a  $\text{FeCl}_3$  adagolásra 180 °C-os hőmérséklet esetén.
5. Megállapítottam, hogy az 1000 mg/kg-os  $\text{FeCl}_3$  adagolás mellett a 3-MCPD-észterek és a GE határérték feletti mennyiségben képződnek 130-180 °C közötti sütési hőmérsékleteken.
6. Igazoltam, hogy az ipari olajfinomítás során a derítési lépésben alkalmazott hőmérséklet is elegendő a 3-MCPD-észterek határérték feletti képződéséhez 1000 mg/kg  $\text{FeCl}_3$  jelenlétében, míg a GE képződése ez esetben visszaszorul.
7. Kimutattam, hogy a  $\text{FeCl}_3$  által katalizált 3-MCPD képződésében a környezeti oxigén is szerepet játszik, mivel az atmoszférikus környezetben nagyobb mennyiségű 3-MCPD-észter képződése megy végbe, mint az ipari derítési körülményeket modellező csökkentett nyomású környezetben.

## 5 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A 3-MCPD-észterek és GE témakörében a korábbi kutatások elsősorban a pálmaolaj finomításának optimalizálását helyezték középpontba mind laboratóriumi, mind ipari szinten. A doktori munkám során elért eredményeim alátámasztják, hogy a magolajokban is nyomon kell követni a szennyezőanyagok képződését.

A dezodorálási kísérletek eredményei rávilágítottak arra, hogy a hőmérséklet és az idő együttes emelése extrém mennyiségű GE képződéshez vezethet, de a vizsgált olajtípusok esetében, ipari dezodorálási körülmények között kézbentartható a képződés (<1 mg/kg). A 3-MCPD-észterek képződését a dezodorálás paramétereinek optimalizálásával nem lehet megelőzni. Mindkét szennyezőanyag esetén igaz, hogy az alapanyag minősége kulcsfontosságú a prekursorok jelenléte miatt: az olajos mag termesztési, betakarítási, olajnyerési műveletei és a dezodorálást megelőző olajfinomítási lépések is szerepet játszanak.

A különböző klórforrások hatásának vizsgálata az étolajok előállítása és felhasználása során zajló folyamatok megértéséhez is hozzájárul. Elsődlegesen olyan szervesetlen klórforrásokat választottam, amelyeket az olajnövény természetes módon felvehet a talajból, műtrágyából, öntözővízből, vagy az sült ételkészítés tartalmazhatja. A konyhasó szerepe a konyhatechnikában elengedhetetlen, emellett a KCl és a CaCl<sub>2</sub> az Európai Unióban engedélyezett adalékanyagok. A kiválasztásban továbbá szerepet játszottak korábbi kutatások is, amelyekben más típusú kísérleti körülmények között vizsgálták a klórforrások 3-MCPD-észterek képződésére gyakorolt hatását.

A munkám során a sók között egyértelmű sorrendet tudtam felállítani a katalitikus hatás tekintetében. Ugyan a kísérletekben extrém nagy adagolásokkal dolgoztam (0,1 vagy 3%), amelyek sem a nyersolajban, sem a finomítási lépések során, sem pedig a felhasználás során nem fordulhatnak elő, de gyakorlati szempontból hangsúlyozni kell, hogy ezek az anyagok képesek katalizálni a képződési reakciót. Ezenfelül a FeCl<sub>3</sub> küszöbkonzentrációja körülbelül 10 mg/kg a vizsgált reakciókörülmények között a 3-MCPD-észterek képződésére vonatkozóan, amely nagyságrend már inkább előfordulhat természetes módon. A FeCl<sub>3</sub> küszöbkonzentrációját a 3-MCPD-észterekre vonatkozóan kísérleti úton nem lehetett meghatározni laboratóriumi méretekben, erre megoldást jelenthet a léptéknövelés. Félüzemi méretekben néhány 10 kg-os tétel esetén a FeCl<sub>3</sub> kisebb adagolása kisebb bizonytalanságot hordozna. A hőmérséklet tekintetében pedig 0,1% FeCl<sub>3</sub> koncentráció esetén még az olajderítési művelet hőmérsékletén sem

lehet a szennyezőanyagok képződését visszaszorítani: 100 °C-on is végbement a 3-MCPD-észterek képződése.

Valódi sütési körülményeket reprezentáló kísérleteim rámutattak arra, hogy a húsok sütése szignifikánsan nagyobb 3-MCPD-észter koncentrációt eredményez, mint a konyhasó adagolása önmagában. A választott sütési hőmérsékleten az eredmények alapján a képződött mennyiség nem jelent egészségügyi kockázatot kiegyensúlyozott és változatos ételmiszerfogyasztás esetén.

Összességében elmondható, hogy az olajfinomítási és a konyhatechnikai hőkezelési kísérleteim empirikus úton hozzájárulnak az MCPD- és glicidil-észterek képződésének megértéséhez. A vizsgált paraméterek (klór eredete, klórforrás koncentrációja, hőmérséklet, oxigén jelenléte, valódi sütési körülmények) hatásai az eredményeim alapján jól értékelhetők és a szennyezőanyagok további kutatását segítik.

## 6 ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

### *Impakt faktoros folyóiratcikkek*

**Erzsébet Bognár**, Gabriella Hellner, Andrea Radnóti, László Somogyi, Zsolt Kemény (2020): Effect of Different Chlorine Sources on the Formation of 3-Monochloro-1,2-Propanediol and 2-Monochloro-1,3-Propanediol Fatty Acid Esters during Frying. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*. 64(4): 523–529.

DOI: <https://doi.org/10.3311/PPch.14137> **IF: 1,257**

**Erzsébet Keppelné Bognár**, Katalin Zay, László Somogyi (2020): Formation of 3-Monochloro-1,2-Propanediol Fatty Acid Esters during Deep-Fat Frying of Pre-Fried Deep Frozen Food with Different Salt Content, *Acta Alimentaria: An International Journal of Food Science* 49(2): 181-188.

DOI: <https://doi.org/10.1556/066.2020.49.2.7> **IF: 0,384**

### *Nem impakt faktoros folyóiratcikkek*

**Erzsébet Bognár** (2017): Occurrence of chloropropanols and glycidol esters in foods – A literature review, *ÉLELMISZERVIZSGÁLATI KÖZLEMÉNYEK* 63(2): 1493-1517.

**Erzsébet Bognár**, Gabriella Hellner, Andrea Radnóti, László Somogyi, Zsolt Kemény (2018): Formation of glycidyl esters during the deodorization of vegetable oils. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry* 46(2): 67–71.

DOI: <https://doi.org/10.1515/hjic-2018-0021> Q4

László Somogyi, Anita Soós, Tekla Izsó, **Erzsébet Bognár**, Katalin Kóczánné Manninger, Ildikó Szedljk, Katalin Badakné Kerti (2018): Lipidtudományi és gabonaipari kutatások a SZIE Gabona és Iparinövény Technológiai Tanszékén. *Magyar Kémikusok Lapja* 73(12): 379-381

DOI: <https://doi.org/10.24364/MKL.2018.12>

### *Konferenciakiadványban megjelent összefoglaló idegen nyelven*

**Erzsébet Bognár**, Tekla Izsó, Anita Soós, László Somogyi: Impact of animal fats on the solidification of palm mid fraction, In: Paola, Pittia; Gerhard, Schleining; Cristina, L M Silva; Lilia, Neri; Anita, Habershuber (szerk.) *Book of Abstracts 4th International ISEKI Food Conference „Responsible Research and Innovation in the Food Value Chain”*, Bécs, Ausztria (2016. július 06-08.) pp. 237.

ISBN: 978-390-093-234-3

**Erzsébet Bognár**, Gabriella Hellner, Andrea Radnóti, László Somogyi, Zsolt Kemény: Effect of different chlorine sources on 3-MCPD-ester formation, In: Livia, Simon Sarkadi (szerk.) *XIXth EuroFoodChem Conference*, Hungarian Chemical Society (2017.10.04-06.) pp. 1800.  
ISBN: 978-963-997-079-3

**Erzsébet Bognár**, Gabriella Hellner, Andrea Radnóti, László Somogyi, Zsolt Kemény: Glicidol-észterek képződése növényolajok dezodorálása során - Formation of Glycidol-esters during deodorization of vegetable oils, In: Balogh, András; Klein, Mónika (szerk.) *Műszaki Kémiai Napok*, Pannon Egyetem (2018 április 24-26.) pp. 20.  
ISBN: 978-963-396-107-0

**Erzsébet Bognár**, Gabriella Hellner, Andrea Radnóti, László Somogyi, Zsolt Kemény: Formation of 2-MCPD-ester beyond 3-MCPD-esters during thermal treatments of oils. In: István, Dalmadi; László, Baranyai; Quang, Duc Nguyen (szerk.) *Third International Conference on Food Science and Technology*, Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar (2018. november 29 - december 01.) pp. 80-81.  
ISBN: 978-963-269-794-9

### ***Konferenciakiadványban megjelent összefoglaló magyar nyelven***

**Bognár Erzsébet**, Soós Anita, Somogyi László: A Healthy Choice Kritériumok Érvényesítése Keksztermékben. In: Gelencsér, Éva; Horváth, Zoltánné; Simonné, Sarkadi Livia; Rurik, Imre (szerk.) *Táplálkozástudományi Kutatások című VI. PhD Konferencia: Program és előadás összefoglalók*, Budapest, Magyarország: Magyar Táplálkozástudományi Társaság, (2016. február 2.) pp. 18