

Riscos e Alimentos

Óleos e Azeites



Pesticidas no azeite virgem: qual o risco?

Possíveis contaminantes de óleos de fritura

Adulteração de Azeite

Possíveis contaminantes de óleos de fritura

Tânia Gonçalves Albuquerque^{a,b}, Helena S. Costa^{a,b}, Ana Sanches-Silva^{a,c}, M. Beatriz P.P. Oliveira^b

^a Unidade de Investigação e Desenvolvimento, Departamento de Alimentação e Nutrição, Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, I.P.

^b REQUIMTE/Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto, R. Jorge Viterbo Ferreira 228, Porto

^c Centro de Estudos de Ciência Animal, Universidade do Porto

Introdução

O aumento do consumo de alimentos fritos e pré-fritos implica uma maior ingestão de óleos e gorduras. Tal comportamento tem sido influenciado por razões sociais e económicas, pois a população dispõe de menos tempo para a preparação dos seus alimentos.

Uma ingestão adequada de lípidos é crucial para um desenvolvimento saudável. Para além do seu contributo energético, deve ter-se em consideração a importância da sua ingestão para obter os ácidos gordos essenciais e as vitaminas lipossolúveis requeridos diariamente. A ingestão diária recomendada varia em função da idade, do estado de saúde do indivíduo e do estilo de vida. A ingestão de gordura em excesso tem sido relacionada com o aumento do risco de obesidade, doença coronária e certos tipos de cancro. Os mecanismos pelos quais estas doenças se desenvolvem são complexos, variados e em muitos casos não estão ainda totalmente esclarecidos.

Os óleos e gorduras são, geralmente, submetidos a processamento/refinação, segundo protocolos adequados, para melhorar a sua qualidade, estabilidade e segurança. No entanto, muitas vezes o processamento a que são submetidos, apesar de remover uma grande quantidade de impurezas do óleo e substâncias indesejáveis, pode originar contaminantes, constituindo perigos acrescidos para a saúde de quem os consome.

O processo de fritura é uma alternativa de preparação de alimentos rápida, ao mesmo tempo que confere características sensoriais diferenciadas. O crescimento das indústrias que produzem estes alimentos desencadeou o desenvolvimento de novos equipamentos, tanto industriais como domésticos, nos quais uma determinada quantidade de óleo é submetida a aquecimento por longos períodos de tempo [1]. No processo de fritura, o alimento é submerso em óleo/gordura a 180 °C, o qual funciona como meio de transferência de calor. Esta forma de aquecimento é mais eficiente do que a cozedura a vapor ou em água, já que as temperaturas

alcançadas pelo processo de fritura são superiores. Considerando que parte do óleo é absorvido pelo alimento, tornando-se assim parte da alimentação, o meio de fritura deve manter a qualidade adequada ao longo de todo o processo.

Durante o aquecimento do óleo, ocorre uma série complexa de reações que leva à sua degradação e à formação de numerosos compostos. As qualidades funcionais, sensoriais e nutricionais modificam-se de tal forma que, passado algum tempo, não é possível continuar a produzir alimentos com qualidade.

O processo de fritura e a degradação dos óleos

As principais formas de degradação do óleo envolvem a hidrólise, a oxidação, a isomerização e a polimerização, resultando na formação de ácidos gordos livres, aldeídos, cetonas, diglicéridos e monoglicéridos, isómeros *trans*, entre outros compostos [2]. Para evitar a autooxidação de óleos e gorduras é fundamental diminuir a incidência de todos os fatores que a favorecem, mantendo os níveis mínimos de energia (temperatura e luz) responsáveis pela formação de radicais livres, reduzir a vestígios os metais no óleo, evitar ao máximo o contacto com o oxigénio, e evitar a formação de radicais livres com a adição de antioxidantes [3].

Para minimizar essa degradação são aconselhados óleos e gorduras mais estáveis, entre os quais se destacam o óleo de palma. São também utilizados óleos vegetais hidrogenados com baixos teores de ácidos gordos polinsaturados (AGPI). Em consequência do referido podem surgir óleos com elevadas quantidades de ácidos gordos saturados (AGS) e/ou ácidos gordos *trans* (AGT) os quais podem ser absorvidos pelos produtos fritos.

Estão disponíveis, atualmente, óleos de elevada estabilidade, obtidos por modificação genética de sementes oleaginosas, com baixos teores de AGPI, com elevados teores de ácido oleico, ou seja, com composição em ácidos gordos e triglicéridos muito diferente dos óleos convencionais [4].

Dos produtos tóxicos formados ao longo do processo de fritura, o 3-monocloropropano-1,2-diol (3-MCPD) e o 4-hidroxi-2-*trans*-nonenal (HNE) levantam alguns problemas de segurança, sendo aconselhados mais estudos para esclarecer a sua formação, os teores formados e as implicações de saúde para os consumidores.

Ácidos gordos *trans*

Os AGT foram definidos por várias entidades [5,6] nomeadamente, o *Codex Alimentarius* como “todos os isómeros de ácidos gordos mono e polinsaturados com ligações duplas carbono-carbono na configuração *trans*, interrompidas pelo menos por um grupo metileno”. A European Food Safety Authority (EFSA) defende que os AGT polinsaturados “têm pelo menos uma ligação dupla *trans*, mas podem também ter ligações duplas de configuração *cis*”.

A determinação analítica dos teores de AGT em géneros alimentícios é frequentemente um grande desafio. Ao longo dos anos têm sido divulgadas diversas técnicas analíticas para a sua determinação, sendo as mais comuns a cromatografia gasosa (CG), seguida pela cromatografia líquida de fase reversa (HPLC). Na CG são utilizados diversos tipos de detetores, tais como o detetor de ionização de chama (FID) ou o detetor de espectrometria de massa (MS), permitindo este último uma melhor identificação dos picos cromatográficos. Permite ainda comparar o tempo de retenção com padrões puros e comparar a informação obtida com a biblioteca de espetros.

Os ácidos gordos de forma geral apresentam elevada polaridade e baixa volatilidade, pelo que a derivatização em ésteres metílicos é essencial para a sua análise [7]. Relativamente às colunas cromatográficas para a análise de AGT, as mais comuns são as colunas capilares de sílica fundida de 100 m de comprimento, uma vez que evitam a sobreposição dos isómeros dos AGT [8].

Existem três fontes principais de AGT nos alimentos. A primeira é a hidrogenação parcial, que converte os óleos vegetais líquidos em gorduras sólidas ou semi-sólidas, com propriedades adequadas, por exemplo, para a produção de margarinas. A segunda é a presença natural deste tipo de ácidos gordos, em gordura de animais ruminantes, formadas no seu estômago por hidrogenação microbiana de ácidos gordos insaturados com configuração *cis*. Por último, o tratamento térmico a elevadas temperaturas pode levar ao aparecimento deste tipo de ácidos gordos nos alimentos [9].

O papel das gorduras e/ou óleos na nutrição humana tem sido uma área de grandes controvérsias e alvo de inúmeros estudos científicos. A gordura em excesso é considerada um dos “piores” nutrientes, atuando como promotor de inúmeras doenças, nomeadamente, as cardiovasculares (DCV), diabetes, obesidade e certos tipos de cancro. Os AGT foram associados a um efeito indesejável no perfil lipídico sérico, com aumento do risco de DCV [10]. De acordo com a literatura, as consequências para a saúde, associadas ao seu consumo, foi considerada ainda mais nefasta do que o consumo de ácidos gordos saturados. Uma ingestão diária de 5 g de AGT foi associada a um aumento de 25% do risco de desenvolvimento de doença coronária [11].

Inúmeros estudos têm sido conduzidos em diversos países para determinar os teores de AGT em alimentos industriais, confeitarias e cadeias de “fast-food”, com o objetivo de avaliar as diversas fontes alimentares e estimar a ingestão diária dos AGT. Segundo Larqué et al. (2001), os alimentos que contêm gordura parcialmente hidrogenada contribuem com cerca de 80% a 90% da ingestão diária em AGT [12]. Para alimentos provenientes de ruminantes esta contribuição é bem menor, sendo estimada entre 2% a 8%. Os óleos refinados apresentam níveis razoavelmente baixos (1,0 - 1,5%) de AGT, mas a neutralização, principalmente na preparação de alimentos fritos, pode tornar significativa a sua contribuição na ingestão diária de AGT [13]. Contudo, os AGT são também produzidos durante a preparação de margarinas, quando os AGPI nos óleos líquidos são artificialmente hidrogenados para preparar gorduras sólidas. Quantidades significativas de AGT são encontradas nas margarinas, alguns tipos de manteigas e outros produtos industrializados que contêm gorduras hidrogenadas [14].

Em Portugal, a determinação dos teores de AGT presentes nos óleos/gorduras destinados à alimentação, tem sido durante os últimos anos pouco estudada. No entanto, durante os anos 90, foram realizados diversos estudos por grupos de investigadores portugueses no que diz respeito aos teores de AGT em diversos tipos de alimentos. A **Tabela 1** resume alguns dos resultados publicados para margarinas, óleos e manteigas.

Além de terem sido determinados os teores em óleos/gorduras crus, também foram realizados estudos em que foi avaliada a composição em ácidos gordos dos óleos submetidos a frituras contínuas [16]. Neste trabalho de investigação, foram conduzidos ensaios de fritura em estufa até às 96 h

(utilizando só o óleo), para se avaliar a formação de AGT nos óleos/gorduras vulgarmente utilizados no processo de fritura. Para além disso também foi determinado, entre outros parâmetros, o perfil em ácidos gordos dos óleos utilizados na fritura de três tipos de alimentos: batatas fritas, filetes de polvo e rissóis de carne, e a composição em ácidos gordos dos alimentos fritos. Concluiu-se que a presença de AGT é dependente da natureza dos óleos, isto é, o óleo de soja apresentou os maiores teores, quando comparado com o óleo alimentar, que foi aquele que apresentou a maior estabilidade à fritura. Para além disso, também se verificou que a composição em ácidos gordos e isómeros *trans* do banho de fritura apresenta-se como um fator determinante na composição final da gordura do produto frito [16].

Tabela 1. Teores de ésteres metílicos de AGT (g/100 g de gordura) em margarinas, minarinas, óleos, “shortenings” e manteigas.

Alimentos	AGT ^a (g/100 g de gordura)
Margarinas de mesa	0,23 – 14,8
Margarinas de cozinha	0,95 – 13,1
Margarinas de uso industrial	3,15 – 12,9
“Shortenings”	0,07 – 16,9
Minarina	0,16
Gordura líquida para culinária	0,13
Manteiga	4,62 – 5,26
Óleos vegetais	0,13 – 1,55
Óleos alimentares	0,14 – 0,25

Adaptado de [15]

^a Os valores são apresentados em g de ésteres metílicos de ácidos gordos por 100 g de gordura.

3-Monocloropropano-1,2-diol (3-MCPD)

O 3-MCPD é um contaminante resultante do processamento alimentar que pertence ao grupo dos cloropropanóis. Trata-se de contaminantes químicos derivados do glicerol, caracterizados estruturalmente por álcoois e dióis de três carbonos ligados a um ou dois átomos de cloro. De acordo com a literatura científica, verifica-se que o 3-MCPD é aquele que se encontra em maior abundância nos alimentos, seguido pelo 2-monocloropropano-1,2-diol (2-MCPD).

Nos últimos anos, tem-se verificado um aumento do número de estudos relacionados com o desenvolvimento de

métodos analíticos para determinação dos teores de 3-MCPD em géneros alimentícios, como demonstrado pela revisão científica recente de Crews e seus colaboradores (2013) [17]. A análise destes contaminantes é extremamente complexa e identificam-se sobretudo métodos diretos e métodos indiretos. Os métodos diretos permitem a identificação individual dos ésteres do 3-MCPD. Geralmente estes métodos são precedidos de extração em fase sólida e a determinação do 3-MCPD é posteriormente realizada utilizando métodos de CG sobretudo acoplada a detetor MS [18]. No entanto, nos últimos tempos também têm sido divulgados métodos de cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massa (LC-MS), utilizando detetores como “time of flight” (TOF), “orbitrap” e triplo quadrupolo (MS/MS) [19]. Por sua vez nos métodos indiretos, a concentração total dos ésteres de 3-MCPD é medida como 3-MCPD livre e inclui, a maior parte das vezes, adição de padrão interno, hidrólise, neutralização, remoção dos ésteres metílicos de ácidos gordos, derivatização do 3-MCPD, e por último análise por CG/MS.

A “International Agency for Research on Cancer” classificou o 3-MCPD como possível carcinogénico em humanos (grupo 2B) [20]. Existem na literatura científica poucos estudos e muitos deles são controversos no que diz respeito aos efeitos deste contaminante na saúde humana. No entanto, em 2001, o “Scientific Committee on Food” concluiu que o 3-MCPD é um carcinogénico não genotóxico e estabeleceu como dose diária admissível 2 µg/kg de peso corporal [21]. A Comissão das Comunidades Europeias estabeleceu teores máximos de 20 µg/kg (para o produto líquido contendo 40% de matéria seca, correspondente a um teor máximo de 50 µg/kg na matéria seca) para a ocorrência de 3-MCPD em proteínas vegetais hidrolisadas e molho de soja [22].

No início dos anos 80, a presença de 3-MCPD foi detetada em hidrolisados de proteína vegetal, em molho de soja e produtos similares, que se formava como um produto da reação do ácido clorídrico com os triacilgliceróis, os fosfolípidos e o glicerol presentes nos óleos vegetais residuais [23]. Posteriormente, verificou-se que o 3-MCPD também pode estar presente em outros produtos que são processados termicamente, como por exemplo, produtos de pastelaria, produtos derivados do malte, produtos fumados e/ou curados à base de peixe ou carne. Em 2006, foi publicado por Zelinkova et al. o primeiro estudo relativo à presença de ésteres de 3-MCPD em óleos e gorduras [24]. Em Portugal, a

informação relativa ao teor deste contaminante em géneros alimentícios é ainda muito limitada ou quase inexistente. Na **Tabela 2**, apresentam-se alguns resultados relativos aos teores de 3-MCPD em óleos e gorduras.

Tabela 2. Teores de 3-MCPD ($\mu\text{g}/\text{kg}$) em óleos e gorduras.

Alimento	Gama ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Referência
Azeites refinados	<300 – 2462	[24]
Banha de porco, gordura do leite, gordura de aves	<100 – 300	[25]
Margarina	400 – 4500	[25]
Óleos de fritura (frescos e usados)	500 – 5200	[25]
Óleos vegetais refinados	<300 – 1234	[24]
Óleos vegetais refinados	150 – 1880	[25]
Óleo de girassol refinado	100 – 2100	[26]
Óleo de salmão refinado	700 – 13000	[26]
Óleo de palma refinado	1100 – 10000	[26]

A quantificação dos teores destes compostos em óleos e gorduras é particularmente importante no que diz respeito à saúde humana, uma vez que muitas vezes para além de podermos ingerir os óleos/gorduras que contém teores de 3-MCPD muito consideráveis, estes mesmos óleos/gorduras são muitas vezes ingredientes dos alimentos processados. Por exemplo, o óleo de palma é vulgarmente utilizado para a preparação de alimentos destinados a bebés, produtos de pastelaria, maionese, entre outros. Nos últimos anos, tem-se assistido a progressos significativos no que diz respeito ao desenvolvimento de métodos analíticos para doseamento do 3-MCPD, estudos reativos aos principais mecanismos de formação deste contaminante em géneros alimentícios, identificação de novas fontes alimentares, avaliação do seu potencial tóxico e desenvolvimento de técnicas de processamento que minimizem a formação do 3-MCPD e outros clopropanóis.

4-Hidroxi-2-trans-nonenal

O HNE é um produto secundário da peroxidação lipídica do ácido linoleico e de outros ácidos gordos ω -6 [27, 28]. É um composto tóxico relacionado com o desenvolvimento de aterosclerose, oxidação de lipoproteínas de baixa densidade, acidente vascular cerebral e doenças neurodegenerativas (Parkinson, Alzheimer e Huntington) entre outras [29-31].

Estes aldeídos formam-se como consequência da oxidação dos ácidos gordos em presença de oxigénio. Quando os óleos vegetais, sobretudo os que são ricos em ácidos gordos polinsaturados, são submetidos a elevadas temperaturas, por exemplo como acontece na fritura, aumenta o risco de formação de produtos secundários como o HNE. Uma vez que o HNE é um composto de elevada toxicidade, que é absorvido a partir da alimentação, e que está relacionado com inúmeras doenças, a informação no que se refere aos mecanismos de formação deste composto, sobretudo em óleos e gorduras submetidos a elevadas temperaturas, é muito importante do ponto de vista da saúde pública.

A determinação analítica de HNE é sobretudo realizada com recurso a técnicas de LC-MS ou CG-MS [32]. A análise por GC-MS requer a derivatização da amostra, por exemplo utilizando pentafluorobenzilo, seguida por siliilação, e o HNE derivatizado pode ser detetado com ionização química negativa e quantificado por comparação com o padrão interno (HNE deuterado) [33, 34]. As técnicas de análise por LC-MS têm a vantagem de não ser necessária a derivatização, sendo possível a análise com muito menos passos intermédios de extração [35, 36].

Boskou et al. (2006) reportou resultados para óleos (girassol, palma, azeite e gordura vegetal) usados na fritura de batatas, bem como para o produto frito, e verificou que o teor de HNE está sobretudo relacionado com o tipo de óleo usado na fritura, e não tanto com a deterioração térmica a que o óleo é sujeito [38]. Em 2008, Han and Csallany (2008) compararam óleos vegetais e manteiga, submetidos a elevadas temperaturas durante curtos períodos de tempo, com óleos vegetais e manteiga submetidos a temperaturas mais baixas, mas durante períodos de tempo mais longos. Deste modo, verificaram que mais uma vez era mais importante a composição em ácidos gordos dos óleos vegetais, do que o próprio tempo de exposição ao tratamento térmico, concluindo que para óleos/gorduras que contém elevados teores de ácido linoleico o tratamento térmico deve ser realizado utilizando temperaturas baixas, para prevenir a formação do HNE.

Estudos científicos evidenciam que o HNE pode estar presente em outros alimentos para além de óleos e gorduras de origem vegetal, como por exemplo em fiambre, bacon, e salsichas fumadas, com teores a variar entre 3,77 e 95,2 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ [39]. Han and Csallany (2012), determinaram

teores de HNE em queijos “Mozzarella” naturais e imitações de queijos “Mozzarella”, que foram expostos a várias temperaturas e diferentes tempos de aquecimento [40]. De acordo com os resultados obtidos, verificaram que a formação de HNE era significativamente menor nos queijos de “Mozzarella” naturais, que contém gordura do leite, quando comparados com as imitações de queijo “Mozzarella” em que sobretudo são utilizados óleos vegetais (ricos em ácido linoleico) [40].

Neste sentido, dado que o HNE é um composto tóxico associado a efeitos negativos na saúde humana, são necessários mais trabalhos de investigação científica que incidam sobre a determinação do teor deste composto em outros alimentos, e que estudem alterações de processamento que possam conduzir à diminuição da sua formação.

Agradecimentos

Tânia Gonçalves Albuquerque agradece a Bolsa de Investigação Científica Ricardo Jorge (BRJ/DAN-2012) financiada pelo INSA, I.P. Este trabalho foi financiado pelo INSA no âmbito do projeto “PTransSALT - Avaliação de ácidos gordos *trans*, gordura saturada e sal em alimentos processados: estudo do panorama português (2012DAN828)”.

This work received financial support from the European Union (FEDER funds through COMPETE) and National Funds (FCT, Fundação para a Ciência e Tecnologia) through project Pest-C/EQB/LA0006/2013.

Referências

- [1] Dobarganes MC, Pérez-Camino MC. Frying process: selection of fats and quality control. *Int M Fats Oils Tech Symp and Ex* 1991; 49:58-66.
- [2] Choe E, Min DB. Chemistry of deep-fat frying oils. *J Food Sci* 2007; 72:77-86.
- [3] Ramalho V, Jorge N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. *Quím Nova* 2006; 29:755-760.
- [4] Rattray J. News fats and oils through biotechnology. *Inform.* 1990; 1:945-947.
- [5] Codex Alimentarius. Guidelines on nutrition labelling. CAC/GL2 1985 amendment 4. Disponível em: http://www.codexalimentarius.net/web/more_info.jsp?id_sta%34.
- [6] EFSA (2010). Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. Disponível em: <http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/scdoc/1461.htm>.
- [7] Ruiz-Rodriguez J, Priego-Capote F, Luque de Castro MD. Recent trends in the advanced analysis of bioactive fatty acids. *J Pharmaceut Biomed* 2010; 51:305-326.
- [8] Albuquerque TG, Costa HS, Castilho MC, Sanches-Silva A. Trends in the analytical methods for the determination of trans fatty acids content in foods. *Trends Food Sci Tech* 2011; 22:543-560.
- [9] Richter EK, Shawish KA, Scheeder MR, & Colombani PC. *Trans fatty acid content of selected Swiss foods: the TransSwiss Pilot study.* *J Food Comp Anal*, 2009; 22: 479-484.
- [10] Mozaffarian D, Aro A, Willett W. Health effects of trans fatty acids: experimental and observational evidence. *Eur J Clin Nutr* 2009; 63:S1-S4.
- [11] Stender S, Dyerberg J, Astrup A. Consumer protection through a legislative ban on industrially produced trans fatty acids in foods in Denmark. *Scand J Food Nutr* 2006; 50: 155-160.
- [12] Larque E, Zamora S, Gil A. Dietary trans fatty acids in early life: a review. *Early Hum Dev* 2001; 65:315-415.
- [13] Aro A, Van ABW, Van EBMA, Kafatos A, Leth T, Poppel G. Trans fatty acids in dietary fats and oils from 14 European Countries: the TRANSFAIR study. *J. Food Comp Anal* 1998; 11:137-149.
- [14] Garrow JS, James WPT, Ralph A. *Human Nutrition and Dietetics*. 10th edition. Churchill Livingstone.
- [15] Amaral ECC, Cruz JA, Martins I, Ramos M, Camacho MA, Remígio J. Ácidos gordos *trans* nos alimentos portugueses. *Rev Port Nutr* 1998; 3:5-18.
- [16] Oliveira MBPP. Estudo de qualidade de lípidos alimentares. Toxicidade e avaliação dos teores de isómeros *trans* dos ácidos gordos insaturados. 1994. Disponível em: [file:///C:/Users/HSC/Downloads/187_TD_01_P%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HSC/Downloads/187_TD_01_P%20(1).pdf)
- [17] Crews C, Chiodini A, Granvogel M, Hamlet C, Hrnčířík K, Khulmann J, Lampen A, Scholz G, Weisshaar R, Wenzl T, Jasti PR, Seefelder W. Analytical approaches for MCPD esters and glycidyl esters in food and biological samples: a review and future perspectives. *Food Addit Contam A* 2013; 30:11-45.
- [18] Weißhaar R. Determination of total 3-chloropropane-1,2-diol (3-MCPD) in edible oils by cleavage of MCPD esters with sodium methoxide. *Eur J Lipid Sci Technol* 2008; 110:183-186.
- [19] Masukawa Y, Shiro H, Nakamura S, Kondo N. A new analytical method for the quantification of glycidol fatty acid esters in edible oils. *J Oleo Sci* 2010; 2:81-88.
- [20] IARC (International Agency for Research on Cancer). 3-Monochloro-1,2-propanediol. In: *IARC Monographs Volume 101. Some Chemicals Present in Industrial and Consumer Products, Food and Drinking-water*. Lyon, France, 2012, 349-374.
- [21] SCF (Scientific Committee on Food), 2001. Opinion of the scientific committee on food on 3- monochloro-propane-1,2-diol (3-MCPD). Updating the SCF opinion of 1994. Adopted on 30

- May 2001. Brussels, Belgium: European Commission. Disponível em: http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out91_en.pdf
- [22] Comissão das Comunidades Europeias. Regulamento (CE) N.o 1881/2006 da Comissão de 19 de Dezembro de 2006 que fixa os teores máximos de certos contaminantes presentes nos géneros alimentícios. JOUE L364; 5-24.
- [23] European Food Safety Authority (EFSA). Scientific report of EFSA. Analysis of occurrence of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) in food in Europe in the years 2009-2011 and preliminary exposure assessment. EFSA Journal 2013; 11(9):3381. Disponível em: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/3381.pdf>.
- [24] Zelinková Z, Svejková B, Velišek J, Doležal M. Fatty acids esters of 3-chloropropane-1,2-diol in edible oils. Food Addit Contam 2006; 23:1290-1298.
- [25] Weißaar R. Fatty acid esters of 3-MCPD: Overview of occurrence and exposure estimates. Eur J Lipid Sci Technol 2011; 113:304-308.
- [26] Kuhlmann J. Determination of bound 2,3-epoxy-1-propanol (glycidol) and bound monochloropropanediol (MCPD) in refined oils. Eur J Lipid Sci Technol 2011; 335-344.
- [27] Esterbauer H, Schaur RJ, Zollner H. Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, monaldehydes and related aldehydes. Free Radic Biol Med 1991; 11:81-128
- [28] Esterbauer H. Cytotoxicity and genotoxicity of lipid oxidation products. Am J Clin Nutr 1993; 57:779S-786S.
- [29] Grootveld M, Atherton MD, Sheerin NA, Hawkes J, Blake D, Richens TE, Silwood CJL, Lynch E, Claxson AWD. In vivo absorption, metabolism, and urinary excretion of unsaturated aldehydes in experimental animals. Relevance to the development of cardiovascular diseases by the dietary ingestion of thermally stressed polyunsaturate-rich culinary oils. J Clin Invest 1998; 101:1210-1218.
- [30] Kritchevsky D. Dietary fat and experimental atherosclerosis. Int J Tissue React 1991; 13:59-65.
- [31] Owen AD, Schapira HA, Jenner P, Marsden CD. Indices of oxidative stress in Parkinson's disease, Alzheimer's disease and dementia with Lewy bodies. J Neural Transm Suppl 1997; 51:167-173.
- [32] Spickett CM. The lipid peroxidation product 4-hydroxy-2-nonenal: Advances in chemistry and analysis. Redox Biol 2013; 1:145-152.
- [33] Selley ML. Determination of lipid peroxidation product (E)-4-hydroxy-2-nonenal in clinical samples by gas chromatography negative-ion chemical ionisation mass spectrometry of the O-pentafluorobenzyl oxime. J Chrom B 1997; 691:263-268.
- [34] van Kuijk FJGM, Siakotos NA, Fong LG, Stephens RJ, Thomas DW. Quantitative measurement of 4-hydroxyalkenals in oxidized low-density-lipoprotein by gas-chromatography mass-spectrometry. Anal Biochem 1995; 224:420-424.
- [35] Gioacchini AM, Calonghi N, Boga C, Cappadone C, Masotti L, Roda A, Traldi P. Determination of 4-hydroxy-2-nonenal at cellular levels by means of electrospray mass spectrometry. Rapid Commun Mass Sp 1999; 13:1573-1579.
- [36] Zanardi E, Jagersma CG, Ghidini S, Chizzolini R. Solid phase extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the evaluation of 4-hydroxy-2-nonenal in pork products. J Agr Food Chem 2002; 50:5268-5272.
- [37] Boskou G, Salta FN, Chiou A, Troulidou E, Andrikopoulos NK. Content of trans,trans-2,4-decadienal in deep-fried and pan-fried potatoes. Eur J Lipid Sci Technol 2006; 108:109-115.
- [38] Han IH, Csallany AS. Temperature dependence of HNE formation in vegetable oils and butter oil. J Am Oil Chem Soc 2008; 85:777-782.
- [39] Munasinghe DMS, Ichimaru K, Matsui T, Sugamoto K, Sakai T. Lipid peroxidation-derived cytotoxic aldehyde, 4-hydroxy-2-nonenal in smoked pork. Meat Sci 2003; 63:377-380.
- [40] Han IH, Csallany AS. The toxic aldehyde, 4-hydroxy-2-trans-nonenal (HNE) formation in natural and imitation Mozzarella cheeses: heat treatment effects. J Am Oil Chem Soc 2012; 89:1801-1805.