

Technical University of Denmark



Effekten af stegetid og -temperatur på kvaliteten af spiseolier

Jacobsen, Charlotte; Holmer, Iben; Simony Jensen, Jenny; Stampe Madsen, Stine; Lund-Larsen, Martin; Mejborn, Heddie

Publication date:
2016

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Jacobsen, C., Holmer, I., Simony Jensen, J., Stampe Madsen, S., Lund-Larsen, M., & Mejborn, H. (2016). Effekten af stegetid og -temperatur på kvaliteten af spiseolier. Søborg: DTU Fødevareinstituttet, Danmarks Tekniske Universitet.

DTU Library

Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Effekten af stegetid og -temperatur på kvaliteten af spiseolier



Effekten af stegetid og -temperatur på kvaliteten af spiseolier

Udarbejdet af

Charlotte Jacobsen
Professor MSO DTU Fødevareinstituttet

Iben Holmer, Jenny Simony Jensen, Stine Stampe Madsen
og Martin Lund-Larsen
DTU-studerende Teknisk Biomedicin

Heddie Mejborn
Seniorrådgiver DTU Fødevareinstituttet

Effekten af stegetid og -temperatur på kvaliteten af spiseolier

1. udgave, april 2016

Copyright: DTU Fødevareinstituttet

Foto/Illustration: Colourbox.com

ISBN: 978-87-93109-76-6

Rapporten findes i elektronisk form på adressen:

www.food.dtu.dk

Fødevareinstituttet

Danmarks Tekniske Universitet

Mørkhøj Bygade 19

2860 Søborg

Tlf.: +45 35 88 70 00

Fax +45 35 88 70 01

Indholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	3
Summary	6
Indledning	9
Formål.....	10
Metode.....	11
Dannelse af oxidationsprodukter	11
Dannelse af transfedtsyrer	11
Resultater af forsøg	11
Diskussion	14
Diskussion af forsøg.....	14
Generel diskussion af oxidation i planteolier ved stegning.....	16
Pandestegning.....	17
Friturestegning.....	18
Diskussion af effekt af stegetid og -temperatur på fedtsyreændringer i planteolier	23
Konklusion	24
Forkortelser.....	26
Referencer	27
Bilag 1. Effekten af stegetid og -temperatur på ændringer i fedtsyresammensætning i spiseolier (primært dannelsen af transfedtsyrer). Resultat af litteratursøgning.....	31

Forord

I den offentlige debat fremkommer undertiden påstande om forskellige planteoliers egnethed til stegning. Det påstås blandt andet, at de fleste planteolier er for ustabile at stege i, således at der dannes potentielt sundhedsskadelige kemiske forbindelser, også ved stegning i almindelige husholdninger. Påstanden er derfor, at man i stedet bør anvende fedtstoffer med højt indhold af mættede fedtsyrer som fx kokosfedt til stegning.

Fødevarestyrelsen har bedt DTU Fødevareinstituttet samle eksisterende viden om effekten af stegetid og stegetemperatur på fedtsyresammensætning og indhold af oxidationsprodukter og polymerer i forskellige spiseolier inkl. kokosfedt.

Resultaterne er samlet i denne rapport. Arbejdet har involveret DTU-studerende, som via deres studieprojekter har bidraget til at løse opgaven, men alle rapportens konklusioner er truffet af DTU Fødevareinstituttet.

Søborg, april 2016

DTU Fødevareinstituttet

Sammendrag

Stegning er en af de mest anvendte tilberedningsmetoder af fødevarer, både i husholdninger og restauranter. Fødevarestyrelsen anbefaler, at man vælger planteolier eller bløde/flydende margariner, når man steger sin mad. Planteolier og flydende margariner udviser forskellig grad af varmemestabilitet og modtagelighed for oxidation. En række faktorer så som stegebetingelser (temperatur og tid), fedtsyresammensætning og indhold af antioxidanter i olien påvirker nedbrydningen af fedtsyrer og dannelsen af transfedtsyrer ved opvarmning. Der kan desuden være forskel på effekten af friturestegning (grydestegning) og pandestegning på graden af fedtsyrenedbrydning på grund af overflade-volumen ratioen.

Ved oxidation af fedtsyrer kan der dannes mange forskellige nedbrydningsprodukter. De primære oxidationsprodukter er lipidhydroperoxider og epoxider, herunder epoxyfedtsyrer. De primære oxidationsprodukter kan nedbrydes yderligere til sekundære oxidationsprodukter bl.a. aldehyder og ketoner. Udover lipidoxidation kan der også ske en såkaldt hydrolytisk harskning. Det er en proces, hvor der sker en fraspaltning af frie fedtsyrer fra triglyceriderne.

Via en litteratursøgning er der skabt overblik over den eksisterende viden om oxidation og fedtsyreændringer af planteolier under opvarmning ved almindelig anvendelse til stegning i husholdninger.

Litteraturgennemgangen viste, at ved pandestegning med jomfruolivenolie fandt man en højere nedbrydning, der resulterede i øget indhold af frie fedtsyrer (FFA), peroxidtal (PV) og totale polære forbindelser (TPC) sammenlignet med friturestegning. Sammenlignet med forskellige raffinerede planteolier havde jomfru- og ekstra jomfruolivenolie et højere FFA, men de raffinerede planteolier havde en højere termoxidativ nedbrydningshastighed på grund af et højere indhold af polyumættede fedtsyrer (PUFA). Endvidere blev der observeret et højere tab af PUFA ved pandestegning end ved friturestegning. Et højere tab af phytosteroler, phenolforbindelser og E-vitamin blev observeret for olivenolie ved pandestegning end ved friturestegning. Den mere udtalte nedbrydning af olivenolie og andre planteolier under pandestegning end under friturestegning kan forklares ved større fødevare/olie kontaktflade til varmepladen, dårligere temperaturkontrol og højere eksponering til ilt.

I et nyligt studie undersøgte man dannelsen af epoxyfedtsyrer og TPC i hørfrøolie, solsikkeolie, rapsolie og olivenolie under opvarmning ved 160°C–190°C. Man fandt det højeste indhold af epoxyfedtsyrer i olivenolie efterfulgt af solsikkeolie, hørfrøolie og rapsolie. Indholdet af TPC var højest i solsikkeolie efterfulgt af hørfrøolie og olivenolie, mens rapsolien også her havde det laveste indhold.

Gentaget opvarmning og nedkøling af olier forårsagede større forringelse af olien end kontinuerlig opvarmning, da opløseligheden af oxygen steg i olien, når olien blev afkølet. Gradvis genopfyldning med frisk olie under langvarig friturestegning gav en bedre kvalitet af olien.

Forskellige studier har vist, at lipidoxidation og nedbrydningshastighed ikke kun afhænger af, hvilken olie man bruger til stegningen, men også fødevaren, der steges, og dens fedtsyreindhold har betydning.

For at minimere dannelsen af oxidationsprodukter under stegning kan man anvende olier med et højere indhold af mættede fedtsyrer, fx palmeolie og kokosolie. Disse olier undergår dog også forandringer ved opvarmning. For begge typer olier var der efter en dags stegning signifikant stigning i PV, anisidintal (AV) (især palmeolie), totoxværdi (TV) (især plameolie), FFA (især kokosolie) og % polære forbindelser. Også kortere tids opvarmning ændrer den oxidative stabilitet i jomfrukokosolie. Forsøget varede otte timer, og efter én times stegning ved 180°C var PV, FFA, AV og TV steget signifikant. Ændringerne var af en størrelse så forfatterne konkluderede, at jomfrukokosolie var stabilt og acceptabelt efter otte timers stegning.

Samlet kan man konkludere, at pandestegning oftest udføres ved temperaturer, der er sammenlignelige med friturestegning, men ved pandestegning er olien udsat for mere ilt på grund af højere overflade-volumen ratio, fordi der kun er et tyndt lag olie på panden. Der er derfor øget risiko for, at olien kan undergå kemisk nedbrydning. Men eftersom pandestegning typisk er kortvarig, og olien ikke genbruges, så er der kun begrænset effekt på oliens fedtsyresammensætning og nedbrydning.

På grund af det høje indhold af umættede fedtsyrer er majsolie (sammen med solsikkeolie) den olie med størst følsomhed for omdannelse af fedtsyrer til transfedtsyrer ved opvarmning. I et forsøg blev raffineret majsolie systematisk opvarmet til forskellige temperaturer (140°C–260°C), og der blev målt dannelse af transfedtsyrer i op til 12 timer. Dannelse af transfedtsyrer i signifikant

mængde krævede, at olien blev udsat for meget høje temperaturer (mindst 200°C) og opvarmning i lang tid (mindst en time ved 200°C eller mindst en halv time ved 220°C eller derover). De målte ændringer i transfedtsyreindhold var dog små, og først efter fire timers opvarmning ved mindst 220°C indeholdt olien over 2% transfedtsyrer, hvilket ikke er relevant for almindelig anvendelse i husholdninger.

De fleste planteolier har et naturligt (koldpressede olier) eller tilsat (raffinerede olier) indhold af antioxidanter, der beskytter olien mod oxidation og dannelse af transfedtsyrer ved normal brug i husholdninger. Ifølge litteraturen vil en olie med et højt indhold af antioxidanter sandsynligvis være bedre at benytte over længere tids opvarmning, da antioxidanterne hjælper til højere stabilitet af olien.

Påstande, om at koldpressede olier som ekstra jomfruolivenolie ikke er velegnede til stegning og kun bør tilsættes maden direkte, kan ikke bekræftes af litteraturen.

Ved vurdering af resultaterne i relation til eventuelle sundhedsskadelige effekter er det vigtigt at være opmærksom på, at mange af metoderne til de målte parametre er uspecifikke, og deres niveau siger meget lidt om niveauet af de specifikke stoffer, der dannes ved oxidation, og som kan have sundhedsskadelige effekter. For at kunne vurdere hvor meget en olie skal være oxideret, før den udgør et sundhedsmæssigt problem, er der brug for mere specifikke undersøgelser af de dannede oxidationsprodukter. Der er derfor behov for systematiske studier, som sammenligner effekten af stegetemperatur og-tid på stabiliteten af raffinerede og ikke-raffinerede planteolier inkl. palmeolie og kokosolie.

Summary

Frying is one of the most used methods for cooking foods in private kitchens and restaurants. The Danish Veterinary and Food Administration recommends that you use vegetable oils or soft/liquid margarines for cooking food. Vegetable oils and liquid margarines exhibit differences in heat stability and susceptibility to oxidation. Several factors like frying conditions (temperature and time) and fatty acid composition and antioxidant content of the oil affect the degradation of fatty acids and the formation of trans fatty acids during heating. Besides, deep frying and pan frying can affect the fatty acid decomposition differently due to different surface-to-volume ratio.

Several different degradation products can be formed during oxidation of fatty acids. Lipid hydroperoxides and epoxides, including epoxy fatty acids are primary oxidation products. The primary oxidation products can be further degraded to secondary oxidation products, e.g. aldehydes and ketones. Apart from lipid oxidation, hydrolytic rancidification can also take place. It is a process by which free fatty acids are hydrolysed from the triglycerides.

We performed a literature review to get an overview over existing knowledge about oxidation and decomposition of fatty acids in vegetable oils during heating conditions comparable to normal household use.

The literature review showed that pan frying of virgin olive oil induced a faster degradation, resulting in increased content of free fatty acids (FFA), peroxides (PV) and total polar compounds (TPC) compared to deep frying. Compared to different refined vegetable oils, virgin olive oil and extra virgin olive oil had higher FFA but the refined vegetable oils had a higher thermo-oxidative degradation rate due to a higher content of polyunsaturated fatty acids (PUFA). Besides, a higher PUFA loss was observed by pan frying than by deep frying. A higher loss of phytosterols, phenol compounds and vitamin E was observed for olive oil by pan frying. The higher degradation of olive oil and other vegetable oils during pan frying compared to deep frying can be explained by the higher food/oil contact to the heat source, inferior temperature control and higher oxygen exposure.

In a recent experiment the formation of epoxy fatty acids and TPC in linseed oil, sunflower oil, rapeseed oil and olive oil were measured during heating to 160°C –190°C. The highest epoxy fatty acid content was found in olive oil followed by sunflower oil, linseed oil and rapeseed oil. TPC

content was highest in sunflower oil followed by linseed oil and olive oil while, again, rapeseed oil had the lowest content

Repeated heating and cooling of oils resulted in larger deterioration of the oil compared to continuous heating, since the solubility of oxygen in the oil increased, when the oil was cooled. Gradually refilling with fresh oil during long time deep frying resulted in a better oil quality.

Different experiments have shown that the rate of lipid oxidation and degradation not only depends on the oil you use for frying but also the food being fried and the fatty acid content are important.

To minimise the formation of oxidation products during frying you can use oils with a higher content of saturated fatty acids, e.g. palm oil and coconut oil. However, these oils are also subject to changes during heating. For both oils a significant increase in PV, anisidine value (AV) (especially palm oil), totox value (TV) (especially palm oil), FFA (especially coconut oil) and % polar compounds was found after one day of frying. Also, heating for a shorter time changed the oxidative stability of virgin coconut oil. The experiment lasted eight hours, and after one hour of frying at 180°C, PV, FFA, AV and TV had increased significantly. The changes were of a magnitude that made the authors conclude that virgin coconut oil was stable and acceptable after eight hours of frying.

Overall, it can be concluded that pan frying often is performed at a temperature that is comparable to deep frying but during pan frying the oil is exposed to more oxygen due to a higher surface-to-volume ratio because there is only a thin layer of oil on the frying pan. Therefore, there is an increased risk that the oil can be subject to chemical degradation. But since pan frying typically is of short duration and the oil is not reused, there are only minor effects on the fatty acid composition and degradation.

Because of the high unsaturated fatty acid content corn oil (as well as sunflower oil) is the oil being most sensible to fatty acid conversion to trans fatty acids during heating. In an experiment refined corn oil was systematically heated to different temperatures (140°C -260°C), and the formation of trans fatty acids was measured for up to 12 hours. The formation of significant amounts of trans fatty acids required the oil to be heated to very high temperatures (at least 200°C) and for a very long time (at least one hour at 200°C or at least half an hour at 220°C or

above). The measured changes in trans fatty acid content were small, and only after four hours of heating to at least 220°C the trans fatty content in the oil exceeded 2%, which is irrelevant for normal kitchen use.

Most vegetable oils have a natural (cold pressed oils) or added (refined oils) content of antioxidants, protecting the oil from oxidation and trans fatty formation during normal household use. According to the literature an oil with a high antioxidant content is likely to be better protected during long time heating, since the antioxidants contribute to higher stability of the oil.

Claiming that cold pressed oils like extra virgin olive oil are not suited for frying and should only be used directly on the food cannot be substantiated by scientific literature.

When evaluating the results related to possible harmful health effects, it is important to observe that most of the methods for measuring degradation products are unspecific, and their level provide very little information about the level of individual compounds formed by oxidation, which can have potential harmful health effects. To evaluate how much an oil must be oxidised before it represents a health problem, more specific analyses of the produced oxidation products are needed. Therefore, systematic studies comparing effects of frying temperature and time on the stability of refined and non-refined vegetable oils including palm oil and coconut oil are needed.

Indledning

Stegning er en af de mest anvendte tilberedningsmetoder af fødevarer, både i husholdninger og restauranter. Fødevarestyrelsen anbefaler, at man vælger planteolier eller bløde/flydende margariner, når man steger. Under stegeprocessen kan der ske oxidation, hydrolyse, polymerisering, isomerisering og dannelse af cycliske forbindelser i fedtstofferne. Nogle af de dannede stoffer kan potentielt være sundhedsskadelige.

Planteolier og flydende margariner udviser forskellig grad af varmestabilitet og modtagelighed for oxidation. En række faktorer så som stegebetingelser (temperatur og tid) og fedtsyresammensætning og indhold af antioxidanter i olien påvirker nedbrydningen af fedtsyrer og dannelsen af transfedtsyrer ved opvarmning (Önal & Ergin 2002; Frankel 2005; Tsuzuki 2012). Den oxidative stabilitet af fedtsyrer stiger jo mere mættet fedtsyren er. En tommelfingerregel siger, at oliesyre (C18:1) er ca. 25 gange så stabil overfor oxidation som linolsyre (C18:2) og ca. 75 gange så stabil som α -linolensyre (C18:3)(Hrncirik 2010).

Fødevarer, der steges, kan også påvirke nedbrydningen af olien. Der kan desuden være forskel på effekten af friturestegning (grydestegning) og pandestegning på graden af fedtsyrenedbrydning på grund af overflade-volumen ratioen.

Alle disse forhold har ført til, at der undertiden fremsættes påstande i medierne om, at de fleste planteolier er ustabile ved stegning, og at de flerumættede fedtsyrer oxideres til primære og sekundære oxidationsprodukter eller omdannes til transfedtsyrer, som kan være sundhedsskadelige.

Ved oxidation af fedtsyrer kan der dannes mange forskellige nedbrydningsprodukter.

Oxidationsprodukterne opdeles i primære og sekundære produkter. De primære oxidationsprodukter er lipid hydroperoxider og epoxider, herunder epoxyfedtsyrer (Grootveld *et al.* 2014). De primære oxidationsprodukter kan nedbrydes yderligere til sekundære oxidationsprodukter bl.a. aldehyder og ketoner. Aldehyder er flygtige forbindelser, så de vil ikke kun være til stede i selve olien men også i dampene under stegning. I fødevarerindustrien måles indholdet af primære oxidationsprodukter i fedtstoffer typisk som peroxidallet (PV), mens de sekundære oxidationsprodukter måles som anisidintallet (AV). Ved opvarmning til høj temperatur

kan oxidationsprodukterne reagere med hinanden og polymerisere. Den totale oxidation af en olie angives ofte som TOTOX-tallet (TV), som udregnes ved $TOTOX = 2 * PV + AV$.

Udover lipidoxidation kan der også ske en såkaldt hydrolytisk harskning. Det er en proces, hvor der sker en fraspaltning af frie fedtsyrer (FFA) fra triglyceriderne (TAG). Den hydrolytiske harskning måles ved indholdet af FFA.

Da lipidoxidations- og hydrolyseprodukterne indeholder oxygen er de mere polære end de fedtsyrer, de stammer fra. Oxidation og hydrolysegrad kan derfor også måles ved at måle totale polære forbindelser (TPC). TPC repræsenterer alle fedtsyrernes nedbrydningsprodukter med højere polaritet end TAG og omfatter oxideret og polymeriseret TAG samt hydrolyseprodukter som diglycerider og FFA. TPC anvendes som en global indikator for fedt nedbrydning og bruges som et mål for de kvalitetsforringelser, der er sket i opvarmede olier, især når det drejer sig om fritureolier.

Lipidoxidationsprodukter og frie fedtsyrer kan fjernes ved raffinering og deodorisering af olien, men selv efter en grundig raffinering og deodorisering vil olien stadig indeholde små koncentrationer af de forskellige oxidationsprodukter. Udføres raffinering og deodorisering ved høj temperatur kan der desuden dannes transfedtsyrer (TFA).

For at få et overblik over den eksisterende viden om, hvilke ændringer der sker i planteolier ved almindelig anvendelse til stegning i husholdninger, er der udført to litteratursøgninger. Derudover er der udført et forsøg med opvarmning af tre almindelige olier.

Formål

Formålet med litteraturgennemgangen er at redegøre for den vigtigste eksisterende litteratur om oxidation og fedtsyreændringer af planteolier under opvarmning, specielt ved pandestegning og friturestegning i kort tid.

Formålet med forsøget er at måle mængden af peroxider, der bliver dannet ved termisk behandling, når udvalgte spiseolier opvarmes til forskellige temperaturer.

Effekten af antioxidantindhold i olierne og af hvilke fødevarer, der steges i olien, behandles kun perifært.

Metode

Dannelse af oxidationsprodukter

Der blev foretaget en litteratursøgning i Web of Science med følgende søgeord: lipid oxidation, frying, pan-frying, deep-frying, quality, oxidative stability, vegetable oil, olive oil, rapeseed oil, sunflower oil.

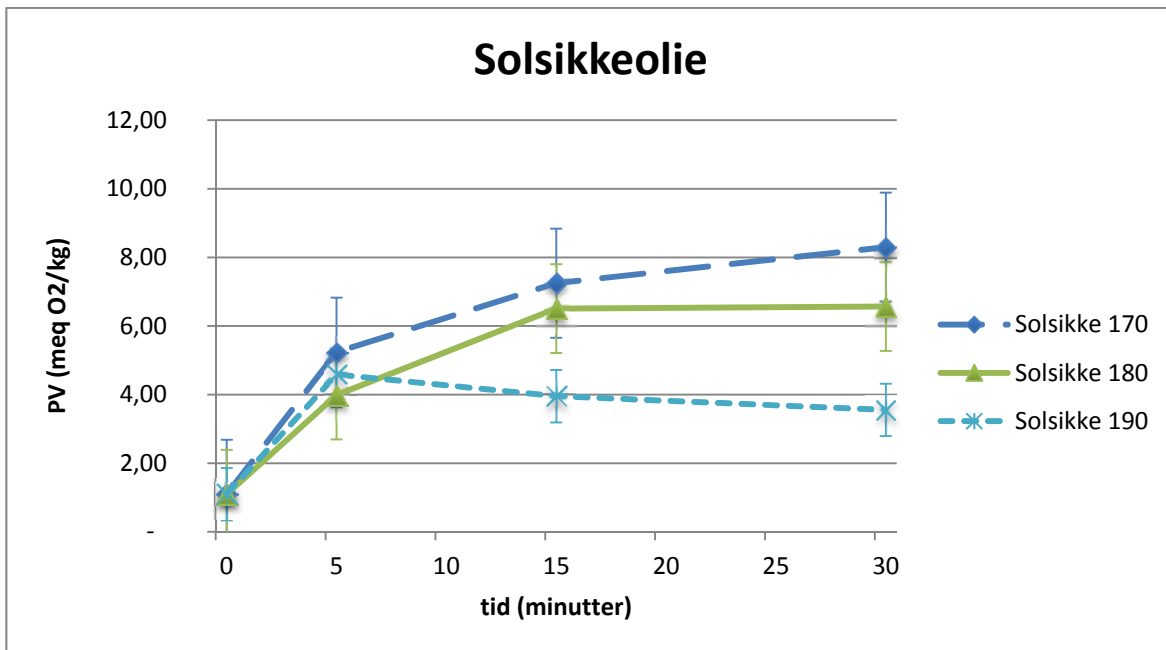
Desuden blev der udført et forsøg med opvarmning af 3 olier og måling af primære oxidationsprodukter (Holmer *et al.* 2015). De udvalgte olier: olivenolie, solsikkeolie og rapsolie, blev valgt ud fra tilgængelighed og vurderet popularitet. Olierne var af mærket "Budget" fra Føtex's discountsortiment. Den valgte olivenolie var koldpresset, mens solsikkeolien og rapsolien var raffineret. De tre olier blev alle opvarmet til henholdsvis 170°C, 180°C og 190°C i 30 minutter, og der blev udtaget én prøve før opvarmning og én prøve efter henholdsvis 5, 15 og 30 minutters opvarmning. Indholdet af PV (milliækvivalenter peroxid pr. kg olie, meq O₂/kg) i prøverne blev analyseret ved dobbeltbestemmelse.

Dannelse af transfedtsyrer

Der blev foretaget en litteratursøgning i Web of Science efter engelsksprogede artikler publiceret mellem 1970 og 2015. Søgeprofilen var: (TS=((frying OR pan-frying OR deep-frying) AND ("fatty acids" OR "trans fatty acids")) AND ("vegetable oil" OR "olive oil" OR "rapeseed oil" OR "canola oil" OR "soybean oil" OR "corn oil" OR "sunflower oil" OR "maize oil" OR "palm oil" OR coconut))).

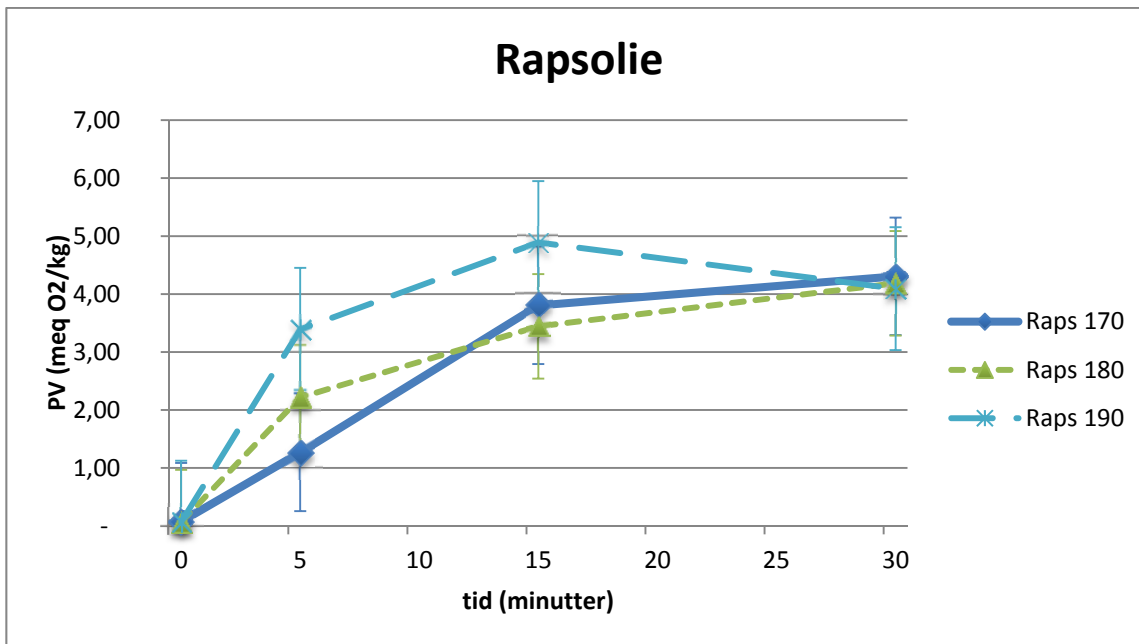
Resultater af forsøg

Udgangsniveauet for PV i solsikkeolie var 1 meq O₂/kg. I figur 1 ses udviklingen i PV i solsikkeolie ved henholdsvis 170°C, 180°C og 190°C. Efter 5 minutters opvarmning steg PV ved alle temperaturer. Kurveforløbene for 170°C og 180°C var tilnærmelsesvis ens. Der sås en konstant stigning i PV gennem hele måleperioden for olie opvarmet til 170°C. For solsikkeolie opvarmet til 180°C opnåede kurven en max PV i perioden mellem 15 og 30 minutter, hvorefter kurven fladede ud. For solsikkeolien, der var opvarmet til 190°C, sås en langsom reduktion af PV efter de første 5 minutter.



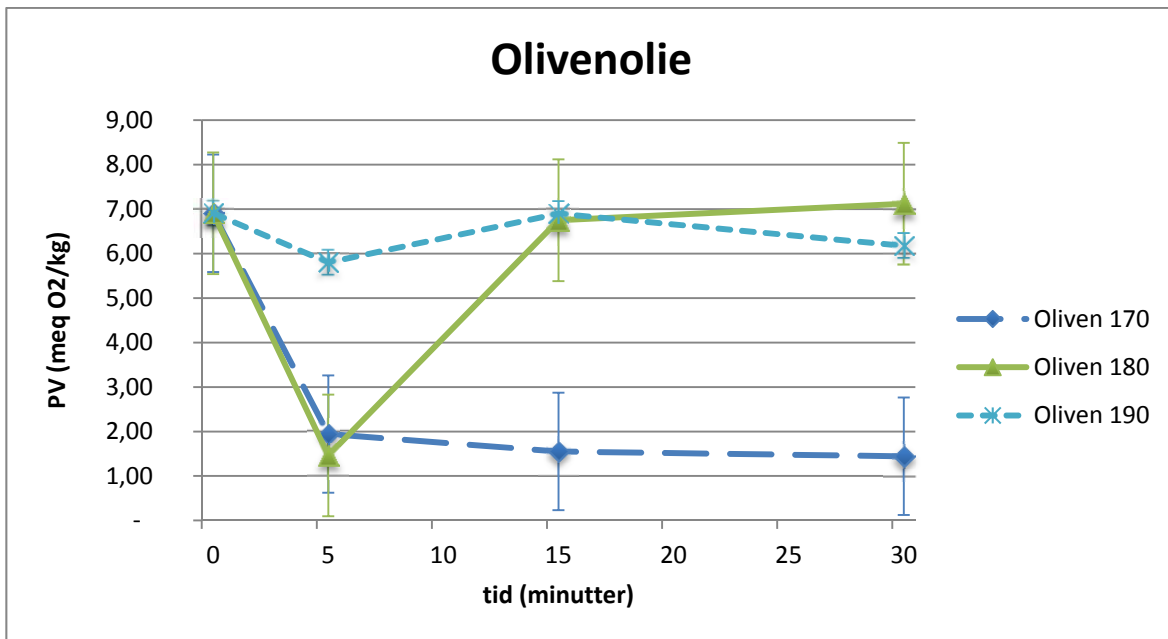
Figur 1. Udvikling i peroxid dannelse (PV) ved opvarmning af solsikkeolie ved forskellige temperaturer.

Kurveforløbet for PV i rapsolie opvarmet til 170°C og 180°C var tilnærmelsesvis ens for de 30 minutters opvarmning og gav en forøgelse af PV fra 0 meq O₂/kg til 4 meq O₂/kg (figur 2). For rapsolie, der var opvarmet til 190°C, skete der ligeledes en stigning af PV, måske lidt hurtigere end ved 170° C og 180° C, men kun over de første 15 minutter (til 5 meq O₂/kg), hvorefter PV var svagt faldende. Fælles for alle tre kurver var, at de stort set alle endte med samme niveau af PV.



Figur 2. Udvikling i peroxiddannelse (PV) ved opvarmning af rapsolie ved forskellige temperaturer.

Olivenuolie havde inden opvarmning en PV på 7 meq O₂/kg. Den havde således et højt indhold af primære oxidationsprodukter fra start, hvilket skyldtes, at den var koldpresset og derfor indeholdt naturligt forekommende forbindelser, som gav anledning til oxidation. Når olien blev opvarmet til henholdsvis 170°C og 180°C, sås en markant reduktion i PV de første fem minutter (figur 3). Oliens, der var opvarmet til 170°C, forblev lav i PV gennem resten af måleperioden. Ved 180°C steg PV til udgangsniveauet efter 15 minutter. Olivenuolien, der var opvarmet til 190°C, ændrede stort set ikke PV i måleperioden.



Figur 3. Udvikling i peroxid dannelse (PV) ved opvarmning af olivenolie ved forskellige temperaturer.

Diskussion

Diskussion af forsøg

Resultaterne tydede på, at i løbet af de første fem minutters opvarmning af solsikkeolie skete der en hurtigere dannelse af primære oxidationsprodukter, end der skete en nedbrydning af disse. Det gjorde sig gældende ved alle temperaturer. I solsikkeolien, der var opvarmet til 170°C og 180°C, oversteget dannelsen af peroxider fortsat nedbrydningen efter fem minutter, så PV fortsatte med at stige, men efter 15 minutter ved 180°C skete nedbrydningen af primære oxidationsprodukter tilsyneladende med samme hastighed som dannelsen, så niveauet af PV var konstant. Efter fem minutter ved 190°C skete dannelse af primære oxidationsprodukter og nedbrydning af disse til sekundære nedbrydningsprodukter med nogenlunde samme hastighed, idet PV var næsten konstant.

Under hele måleforløbet ved 170°C og 180°C skete der en hurtigere dannelse end nedbrydning af primære oxidationsprodukter i rapsolien. Ved 190°C tydede det på, at der efter 15 minutter skete en omdannelse af primære til sekundære oxidationsprodukter med lidt større reaktionshastighed

sammenlignet med hastigheden for dannelse af primære oxidationsprodukter, da der sås et fald i udvikling i PV.

Når olivenolien blev opvarmet til henholdsvis 170°C og 180°C, sås en markant reduktion i PV de første fem minutter. Denne reduktion kunne tyde på, at der ved disse temperaturer blev nedbrudt mere peroxid til sekundære oxidationsprodukter, end der blev dannet. Kurven for 170°C fortsatte med en lav PV gennem hele måleperioden. Dette kan skyldes, at de primære oxidationsprodukter blev omdannet til sekundære oxidationsprodukter med samme hastighed, som der blev dannet nye primære oxidationsprodukter. Ved 180°C steg PV til udgangsniveauet efter 15 minutter. Stigningen i PV kan skyldes, at der ved 180°C dannedes flere primære oxidationsprodukter, end der blev nedbrudt. Der kan måske også være tale om en målefejl efter fem minutter, så PV-niveauet for olien ved 180°C har været uændret mellem 0 og 15 minutter ligesom ved 190°C. Udviklingen i PV for olien, der blev opvarmet til 190°C, lignede ikke de to andre kurver, idet PV stort set var uændret i måleperioden. Det tyder på, at de primære oxidationsprodukter blev nedbrudt til sekundære oxidationsprodukter ligeså hurtigt, som der blev dannet nye primære oxidationsprodukter.

Efter 30 minutters opvarmning havde solsikkeolie det højeste PV, lidt højere end olivenolie og næsten dobbelt så højt som rapsolie. Det kan skyldes, at solsikkeolie indeholder 65,9% flerumættede fedtsyrer (PUFA)(www.foodcomp.dk), som er mere reaktive end enkeltumættede og mættede fedtsyrer, der er dominerende i raps- og olivenolie. PV i solsikkeolien nåede dog ikke op på et niveau, der oversteg det tilladte niveau for friske olivenolier, så den sundhedsmæssige effekt af stigningen vurderes at være begrænset.

Rapsolie har et lavere indhold af PUFA end solsikkeolie (34,8%, www.foodcomp.dk) og er derfor mere stabil overfor oxidation. Vores forsøg viste, at der blev dannet få primære oxidationsprodukter i raffineret rapsolie uanset, hvilken temperatur der blev opvarmet til. Det tyder på, at den er velegnet til stegning. Der blev dog kun analyseret primære oxidationsprodukter (PV) og ikke, om der blev dannet sekundære oxidationsprodukter.

Ifølge Fullana *et al.*(2004) findes der flere aldehyder, især det giftige akrolein, i opvarmet rapsolie i forhold til opvarmet olivenolie. Dette kunne tyde på, at der sker en større nedbrydning til sekundære oxidationsprodukter i rapsolien sammenlignet med olivenolie.

I det udførte forsøg havde olivenolien et højere PV end de andre olier før stegning. Dette skyldes, at olivenolien var koldpresset og ikke raffineret. Teoretisk burde olivenolie være bedst at bruge til stegning, da den kun indeholder 9,2% PUFA (www.foodcomp.dk). PV for både 180°C og 190°C var næsten lige så høje i olivenolie som i solsikkeolie. Men da olivenolie havde et højt PV fra starten, var tilvæksten i PV ikke særlig højt. Det kunne tyde på, at oxidation af lipiderne i olivenolie er lav, fordi olien er koldpresset og stadig indeholder naturlige antioxidanter, som hjælper til højere stabilitet. Det er i overensstemmelse med et forsøg af Brenes *et al.* (2002a), der undersøgte indholdet af polyphenoler i to forskellige jomfruolivenolier under stegning. Resultatet viste, at der skete en reduktion af polyphenoler under stegning, hvilket tydede på, at polyphenolerne virkede som antioxidanter og gjorde olien mere stabil.

De anvendte raps- og solsikkeolier i vores forsøg var begge raffinerede. Raffinerings- og deodoriseringsprocesserne reducerer indholdet af naturlige antioxidanter, vitaminer og mineraler men raffinerede olier tilsættes typisk antioxidanter som tocopherol, citronsyre og/eller askorbylpalmitat i slutningen af deodoriseringsprocessen. Det kan dog ikke udelukkes, at det reducerede indhold af naturlige polyphenoler gjorde dem mere ustabile under stegning, men det giver dem også det lave PV før stegning. Santos *et al.* (2013) konkluderede, at ved sammenligning af olivenolie med en variant af solsikkeolie med højt oliesyreindhold så var olivenolien mere stabil, især på grund af indholdet af phenolforbindelser og E-vitamin.

Resultaterne af vores forsøg tydede på, at mængden af umættede fedtsyrer i en olie spillede en væsentlig rolle i forhold til oxidationen. Men stegetid, temperatur og indhold af antioxidanter havde også en betydning for oxidation af olierne.

Generel diskussion af oxidation i planteolier ved stegning

Ved vurdering af resultaterne i relation til eventuelle sundhedsskadelige effekter er det vigtigt at være opmærksom på, at mange af metoderne til de målte parametre er uspecifikke, og deres niveau siger meget lidt om niveauet af de specifikke stoffer, som kan have sundhedsskadelig effekt. For AV gælder fx, at det er en spektrofotometrisk metode, som måler intensiteten af et farvet kompleks dannet som følge af reaktionen mellem anisidin og specielt 2-alkenaler. Intensiteten af det farvede kompleks afhænger af 2-alkenalernes kædelængde, men siger ikke noget om, hvilke 2-alkenaler det drejer sig om. Samtidige varierer den genotoksiske effekt af 2-

alkenaler, hvor nogle er mere genotoksiske end andre. Desuden er der kun lavet få studier med de specifikke oxidationsprodukters sundhedsskadelige effekt.

Pandestegning

I et review gennemgik Santos *et al.* (2013) effekten af pandestegning og friturestegning på stabiliteten af olivenolie. Reviewet omfattede studier, hvor begge tilberedningsmetoder blev afprøvet med forskellige typer olivenolier og ved temperaturer i området fra 170°C til 180°C. For pandestegning fandt man en højere nedbrydning af jomfru olivenolie med øget FFA, PV og TPC sammenlignet med friturestegning. Sammenlignet med forskellige raffinerede planteolier havde jomfru- og ekstra jomfruolivenolie et højere FFA, men de raffinerede planteolier havde en højere termoxidativ nedbrydningshastighed på grund af et højere indhold af PUFA. Endvidere blev der observeret et højere tab af PUFA ved pandestegning end ved friturestegning. Et højere tab af phytosterol, phenolforbindelser og E-vitamin blev observeret for olivenolie ved pandestegning (Andrikopoulos *et al.* 2002; Kalogeropoulos *et al.* 2007a og 2007b; Salta *et al.* 2008; Messina *et al.* 2009). Den højere nedbrydning af olivenolie og andre planteolier under pandestegning end under friturestegning kan forklares ved den højere fødevare/olie kontaktflade til varmepladen, dårligere temperaturkontrol og højere eksponering til ilt (Andrikopoulos *et al.* 2002).

I et andet studie testede man sammenhængen mellem simuleret stegning ved 180°C og indholdet af polyphenoler i to forskellige jomfru olivenolier (Arbequina og Picual). Her fandt man ved HPLC-analyse et fald i koncentrationen af phenolforbindelser (antioxidanter) over tiden, der blev varmet/stegt i. Indholdet af antioxidanten hydroxytyrosol og forbindelser indeholdende dette molekyle faldt hurtigt med stegetiden. Dette gik hurtigere for Arbequina-olien end for Picual-olien. Reduktionen af phenoliske antioxidanter i olierne under opvarmning kan skyldes termisk destruktion af antioxidanterne eller oxidativ nedbrydning af disse som følge af, at de forbruges, når de virker som antioxidanter i olien (Brenes *et al.* 2002a). Disse forbindelser går nemlig også tabt ved opbevaring af olien ved stuetemperaturer og bidrager til stabiliteten af olien (Brenes *et al.* 2001).

I et studie af Sioen *et al.* (2006) undersøgte man, hvordan fedtsyreindholdet af en fed fisk (laks) og mager fisk (torsk) blev påvirket af det fedtstof, der blev stegt i. Til forsøget blev der anvendt olivenolie (monoumættede fedtsyrer, MUFA, 76,1%) og margarine (mættede fedtsyrer, SFA, 55,5%) til at pandestege de to typer fisk i. Resultaterne viste, at den olie, der blev brugt, påvirkede

fedtsyresammensætningen i fisken, men også at indholdet af fedtsyrer i fisken påvirkede fedtsyreindholdet i olien efter stegning. Endvidere viste forsøget, at fede fisk afgav fedt til stegefedtet, mens magre fisk optog fedt fra fedtstoffet. Det vil sige, at både fedtindhold og fedtsyresammensætningen af fisken og fedtsyresammensætningen af stegefedtet påvirkede fedtsyresammensætningen og det totale fedtsyreindhold i fisken efter tilberedning.

I et andet forsøg med laks undersøgte Al-Saghir *et al.* (2004) lipidoxidation og ændringer i kolesteroloxidationsprodukter i pandestegt laksefilet og i de olier, der blev brugt til stegningen. I forsøget blev laksen stegt ved 180°C i seks minutter uden olie, med olivenolie, med majsolie eller med delvist hydrogenet planteolie. Forsøget viste et forhøjet PV for olierne efter stegningen, og at olivenolie afgav en større mængde lipidperoxider til laksen under stegningen end de øvrige olier. Forfatterne konkluderede dog, at stegning ved 180°C kun havde lille effekt på lipidoxidation og fedtsyreindholdet i laksen.

Friturestegning

Friturestegning er en almindelig stegemetode, især i restauranter og i fødevarerindustrien. I forhold til andre tilberedningsmetoder, hvor olien kun bliver opvarmet i kort tid og få gange, er det vigtigt ved friturestegning, at olien kan tåle en langvarig opvarmning.

Daskalakis *et al.* (2009) rapporterede en stigning i PV for jomfruolivenolie i op til 60 minutter ved 180°C, mens Cheikhousman *et al.* (2005) efter opvarmning af ekstra jomfruolivenolie i tre timer ved 170°C rapporterede en PV-reduktion i alle olier. Dette hænger godt sammen med, at disse primære oxidationsprodukter er meget ustabile og let vil blive omdannet til sekundære oxidationsprodukter.

Ryan *et al.* (2008) sammenlignede udviklingen i FFA og AV i solsikkeolie, majsolie, sojaolie, peanutoolie og olivenolie ved opvarmning til 170°C i 96 timer og fandt, at FFA steg lineært og stort set lige meget i alle olier i løbet af de 96 timer (til 0,5-0,6%). FFA i olivenolie var som udgangspunkt lidt højere (0,5%) end i de andre olier (0-0,1%), og indholdet steg langsommere end i de øvrige olier (til 0,9%). AV udviklede sig forskelligt i olierne: indholdet steg hurtigst i solsikkeolie og majsolie og langsomst i olivenolie. Efter 96 timer var AV ca. 325 i solsikke-, majs- og sojaolie, 250 i peanutoolie og ca. 170 i olivenolie. Alle de målte ændringer var dog minimale efter en times opvarmning.

Andrikopoloulos *et al.* (2002) testede opvarmning af olivenolie under tilstedeværelse af fødevarer. Her fandt man en stigning i PV for jomfruolivenolie. Dette er senere blevet bekræftet af Casal *et al.* (2010) for forskellige olivenolietyper. Disse stigninger var dog lavere end de regulerede grænser for jomfruolivenolie og signifikant lavere i sammenligning med solsikkeolie, behandlet under de samme stegebetingelser. For de sekundære oxidationsprodukter, som blev analyseret ved AV, blev der fundet tilsvarende tendens og mængder for flere af ekstra jomfruolivenolie- og olivenolieprøverne. Baseret på analyse af AV scorede solsikkeolien efter 3 timer en oxidationsgrad, der svarede til omkring 27 timers stegning for alle testede olivenolier (Casal *et al.* 2010).

TPC stiger lineært med stegetiden, men mængderne er afhængige af oliens sammensætning. Under simulerede stegebetingelser af planteolier ved 180°C-190°C var dannelsen af TPC for olivenolie relativt lavere end for andre mere umættede planteolier. TPC steg med graden af umættethed (Brenes *et al.* 2002b; Uriarte *et al.* 2010). Dannelsen af TPC i ekstra jomfruolivenolie steg efter phenolforbindelserne var blevet opbrugt, hvilket tydede på en højere modtagelighed for nedbrydning fra det tidspunkt og fremad, fordi phenolforbindelserne beskyttede olien mod oxidation (Gómez-Alonso *et al.* 2003).

Den flygtige fraktion over olien, der dannes under opvarmningen, er rig på nedbrydningsforbindelser. Dannelsen af lavmolekylære flygtige aldehyder er blevet undersøgt under simuleret friturestegning i planteolier med en klar afhængighed af stegetemperaturen, og ikke så meget stegetiden. Små mængder af aldehyder, især det giftige akrolein, blev fundet i olivenolie og ekstra jomfruolivenolie sammenlignet med rapsolie (Fullana *et al.* 2004). Det høje indhold af oliesyre i olivenolie sammen med tilstedeværelsen af phenolforbindelser og carotenoider syntes at bidrage til en reduceret akrolein-dannelse (Procida *et al.* 2009). Et andet studie har også rapporteret lavere mængder af giftige monoaromatiske kulbrinter, alkylbenzener og alkenylbenzener i olivenolie end i andre planteolier med højere indhold af polyumættede acylgrupper (Uriarte *et al.* 2010).

Et studie havde til formål at bestemme den kemiske stabilitet af forskellige planteolier (solsikke-, majs-, soja-, peanut- og olivenolie) ved friturestegning. Olierne blev opvarmet til 170°C i 96 timer. De kemiske indikatorer på oxidation steg med stegetiden for alle planteolierne. Inden forsøget havde olivenolie et højere indhold af FFA end de øvrige planteolier. FFA steg for alle olierne i løbet af de 96 timer, og det samme gjorde sig gældende for AV. FFA er mindre oxidationsstabile end

TAG. På trods af at olivenolie havde det højeste FFA fra forsøgets start, havde denne olie den laveste tilvækst af både FFA og AV, mens solsikkeolie havde den højeste tilvækst (Ryan *et al.* 2008). Dette gjaldt også efter 12 timer. Sammenligning af de andre olier efter 12 timer viste, at sojaolie og peanutoolie oxiderede mindre end solsikkeolie og majsolie. Dette var til trods for, at sojaolien havde et ligeså højt indhold af PUFA som solsikke- og majsolierne.

Matthäus (2006) undersøgte stabiliteten af rapsolie med højt oliesyreindhold (>70%), palme-olein, solsikkeolie med højt oliesyreindhold (77%) og delvis hydrogenet rapsolie ved friturestegning af for-stegte pommes frites ved 175°C i tre et halvt minut; i alt fem stegninger/dag i 11 dage. Mellem stegningerne blev temperaturen holdt på 175°C i en time, så olien var opvarmet i alt seks timer om dagen. Inden opvarmning var indholdet af TPC knapt tre gange så højt i palme-olein (6,24 g/100 g) som i de øvrige olier (2,05-2,5 g/100 g) og selv om indholdet steg lineært i alle olier ved opvarmning, så blev forskellen bevaret. Ingen olier oversteg 24% TPC (som er grænsen for, hvornår olien bør kasseres) i løbet af forsøgets 72 timer. AV var højere (4,58) i palme-olein end i solsikkeolien (2,72) og rapsolierne (0,54) ved start, og værdien steg i alle olier i løbet af de første 30 timer, mest i høj-oliesyre rapsolien og mindst i den hydrogenerede rapsolie. Den oxidative stabilitet faldt hurtigt for alle olier, især for høj-oliesyre solsikkeolien (fra 32 timer til <1 time i løbet af de 72 timer). Ved en samlet vurdering (ranking) af olierne efter 72 timer var der ikke signifikant forskel mellem rapsolierne og solsikkeolien, mens palme-oleinen skilte sig ud som værende dårligst.

I et nyligt studie undersøgte man dannelsen af epoxyfedtsyrer og TPC i hørfrøolie, solsikkeolie, rapsolie og olivenolie under opvarmning ved 160°C–190°C (Brühl *et al.* 2015). Man fandt det højeste indhold af epoxyfedtsyrer i olivenolie efterfulgt af solsikkeolie, hørfrøolie og rapsolie. Indholdet af TPC var højest i solsikkeolie efterfulgt af hørfrøolie og olivenolie, mens rapsolien også her havde det laveste indhold.

Gradvis genopfyldning med frisk olie under langvarig friturestegning gav en bedre kvalitet af olien (Paul & Mittal 1997). Det nedsatte også dannelsen af polære forbindelser, diacylglyceroler og FFA (Romero *et al.* 1998). Stegetiden øgede indholdet af FFA (Mazza & Qi 1992), polære forbindelser såsom triacylglycerol-dimerer og oxiderede triacylglyceroler (Romero *et al.* 1998; Xu *et al.* 1999), dimerer (Gordon *et al.* 1995) og polymerer (Tompkins & Perkins 2000). Høj temperatur accelererede den termiske oxidation og polymerisering af olier (Blumenthal 1991; Tyagi &

Vasishtha 1996). Gentaget opvarmning og nedkøling af olier forårsagede større forringelse af olien end kontinuerlig opvarmning, da opløseligheden af oxygen steg i olien, når olien afkøledes (Clark & Serbia 1991).

Et tidligere projekt på DTU Fødevareinstituttet sammenlignede lipidoxidation i en raffineret rapsolie med en koldpresset rapsolie, når olierne blev opvarmet i en frituregryde i seks timer/dag i ni dage. I forsøget blev målt PV, AV, og antioxidanter (tocopherol). Forsøget viste, at PV i en koldpresset rapsolie fra start lå højere end den raffinerede rapsolie. Efter 3x6 timers opvarmning blev PV for både den koldpressede og den raffinerede olie mere end fordoblet, og herefter sås en fortsat svag stigning i PV. Udviklingen i PV over tid viste samme tendens for de to olier. Analysen af AV viste, at den raffinerede olie havde en højere start AV end den koldpressede. Efter tre dages opvarmning steg AV for begge olier, men AV for den raffinerede olie blev lidt højere. Fra dag tre til dag ni sås ingen yderligere stigning. For begge olier sås et fald i antioxidantindholdet, hvilket viser, at denne er forbrugt under lipidoxidationen. Resultaterne for PV, AV og indhold af antioxidant bekræftede, at opvarmning starter lipidoxidationen. Konklusionen på projektet var, at forskellen mellem en koldpresset og en raffineret olie ikke var signifikant ved opvarmning i en frituregryde. Forskellige studier har vist, at lipidoxidation og lipidnedbrydningshastighed ikke kun afhænger af, hvilken olie man bruger til stegningen, men også at mediet, der steges, og dets fedtsyreindhold har betydning. I et studie testede man indholdet af nedbrydningsprodukter i olier brugt til tilberedning af forskellige fødevarer. Her fandt man et lavt indhold af primære oxidationsprodukter i olie brugt til tilberedning af kulhydratholdige produkter og et højere indhold af primære oxidationsprodukter i olie brugt til tilberedning af grøntsager. Mediet der tilberedes har altså stor indvirkning på nedbrydningshastigheden (Koh & Surh 2015).

I et andet forsøg har Boskou *et al.* (2006) undersøgt trans,trans-2,4-decadienal-indholdet i forskellige stegeolier, og i det medie der steges (pommes frites) under pandestegning og friturestegning. Trans,trans-2,4-decadienal er et oxidationsprodukt (aldehyd) i stegeolier, og det er blevet rapporteret at have en cytotoxisk og genotoksisk virkning. Det kan desuden fremme oxidation af LDL-cholesterol (Billek 2000; Kaliora *et al.* 2003; Wu & Yen 2004). I forsøget blev fem forskellige olier (solsikkeolie, palmeolie, bomuldsfrøolie, olivenolie og en blanding af de tre første) brugt til tilberedning af pommes frites. Pommes fritesene blev friturestegt i otte til ni minutter ved 170°C eller pandestegt i seks minutter ved ca. 175°C. Der blev dannet betydeligt mere aldehyd ved

pandestegning end ved friturestegning. Blandt de forskellige olier fandt man, at friturestegning gav det højeste indhold af trans,trans-2,4-decadienal i solsikkeolie og det laveste i olivenolie. Ved pandestegning havde solsikkeolie det højeste indhold af trans,trans-2,4-decadienal, mens palmeolie havde det laveste. Olivenolien indeholdt næsten samme mængde trans,trans-2,4-decadienal som palmeolien. I selve pommes fritesene fandt man det højeste indhold af trans,trans-2,4-decadienal ved friturestegning i følgende rækkefølge:

solsikkeolie>blandingsolien>bomundsfrøolie>palmeolie>olivenolie. Det samme var gældende ved pandestegning, på nær at palmeolie indeholdt samme mængde som olivenolie. Resultaterne indikerede, at aldehydindholdet var mest relateret til den olie der anvendtes og til tilberedningsmetoden, men det skal dog bemærkes, at stegetiderne ikke var de samme ved de to typer stegning, så dette kan også have haft indflydelse på resultaterne.

For at minimere dannelsen af oxidationsprodukter under stegning kan man anvende olier med et højere indhold af mættede fedtsyrer, fx palmeolie og kokosolie. Man & Hussin (1998) sammenlignede raffineret, bleget, deodoriseret palme-olein og raffineret, bleget, deodoriseret kokosolie ved friturestegning af kartoffelchips ved 180°C i fem timer (=10 stegninger) om dagen i fem dage. Fedtsyreindholdet ændrede sig lidt i begge olier allerede efter en dags stegning: i palmeolie steg indholdet af palmitinsyre og stearinsyre, mens linolsyreindholdet faldt. I kokosolie steg indholdet af caprinsyre (C10:0) og laurinsyre (C12:), mens indholdet af oliesyre og linolsyre faldt. For begge olier var der efter en dags stegning signifikant stigning i PV, AV (især palmeolie), TV (især plameolie), FFA (især kokosolie) og % polære forbindelser.

Inanc & Maskan (2014) har testet effekten af antioxidanttilsætning til palmeolie ved friturestegning af kartoffelskiver ved 150°C. Hver stegning varede fire minutter, og der blev udført i alt 40 stegninger med prøveudtagning for hver 10 stegninger. Efter 10 stegninger var FFA, AV og indhold af konjugerede diener og triener steget, mens jodtallet (IV) var faldet. TPC steg kun lidt efter 10 stegninger. Ændringerne var påvirket af tilstedeværelsen af antioxidant; den naturlige antioxidant carvacrol hæmmede ændringerne bedre end den syntetiske butyleret hydroxytoluen (BHT).

Stegeegenskaber og oxidativ stabilitet i jomfrukokosolie blev testet ved friturestegning af 'Bengal gram dhal' ved 180°C i otte timer (48 stegninger)(Srivastava & Semwal 2015). Prøver blev udtaget hver time. Efter én times stegning var PV, FFA, AV og TV steget signifikant. Ændringer i

fedtsyresammensætning blev målt efter to timers stegning og kun linolsyreindholdet var faldet signifikant fra 1,85% til 1,72%. Alle ændringer var af en størrelse så forfatterne konkluderede, at jomfrukokosolie var stabilt og acceptabelt efter otte timers stegning.

Marina et al. (2014) fandt, at friturestegning i jomfrukokosolie i tre-minutters interval af 15 partier pommes frites/dag i tre dage ved 180°C gav signifikante stigninger i PV, AV, TV efter én dag og fald i IV efter to dage. Tendensen fortsatte gennem hele stegeperioden. FFA steg ikke-signifikant gennem hele stegeperioden.

Samlet kan man konkludere, at pandestegning oftest udføres ved temperaturer, der er sammenlignelige med friturestegning, men ved pandestegning er olien udsat for mere ilt på grund af højere overflade-volumen ratio, fordi der kun er et tyndt lag olie på panden. Der er derfor øget risiko for, at olien kan undergå kemisk nedbrydning. Men eftersom pandestegning typisk er kortvarig, og olien ikke genbruges, så er der kun begrænset effekt på oliens fedtsyresammensætning og nedbrydning.

Diskussion af effekt af stegetid og -temperatur på fedtsyreændringer i planteolier

Ved opvarmning af planteolier er der risiko for dannelse af transfedtsyrer, især i olier med højt indhold af umættede fedtsyrer. Transfedtsyrer dannes, når olierne opvarmes til høj temperatur eller i længere tid. Relevante studier af dannelse af transfedtsyrer i forskellige planteolier ved opvarmning er refereret i bilag 1 i form af en oversigtstabel.

Yang *et al.* (2012) har systematisk opvarmet raffineret majsolie til forskellige temperaturer (140°C -260°C) og målt dannelsen af transfedtsyrer i op til 12 timer. Transfedtsyrer kan dannes i majsolie ved lav temperatur (160°C), men det krævede mere end 12 timers opvarmning af olien, før ændringen var signifikant. I samme forsøg blev der målt signifikant ændring i indhold af transfedtsyrer ved 180°C og 200°C efter én times opvarmning og efter en halv times opvarmning ved 220°C -260°C. Alle måleændringer var dog små, og først efter fire timers opvarmning ved 220°C -260°C indeholdt olien over 2% transfedtsyrer.

Durmaz *et al.* (2015) fandt ligeledes, at raffineret raspolie skulle opvarmes 10 timer ved 180°C, før der kunne måles et indhold af transfedtsyrer over 2%.

For at komme op på et transfedtsyreindhold >1,5% skulle olivenolie opvarmes til 250°C i 40 minutter, solsikkeolie til 250°C i 20 minutter og majsolie til 300°C i 20 minutter (Moreno *et al.* 1999).

Casal *et al.* (2010) observerede en lineær stigning i transfedtsyreindhold i oliven- og solsikkeolie ved stegning af pommes frites ved 170°C, men der blev dannet under 0,5g TFA/100g fedtsyrer selv efter 27 timers stegning.

Adskillige studier rapporterede ingen ændring i transfedtsyreindhold ved opvarmning af planteolier (se bilag 1). Påstande om at koldpressede olier som ekstra jomfruolivenolie ikke er velegnede til stegning og kun bør tilsættes maden direkte, kan ikke bekræftes af litteraturen.

Et højt indhold af antioxidanter i olien hæmmer fedtsyrenedbrydningen og den varmeinducerede dannelse af transfedtsyrer (Önal & Ergin 2002; Tsuzuki 2012).

Opvarmning af planteolier kan medføre en ændring i fedtsyresammensætningen, hvor indholdet af umættede fedtsyrer (især C18:2 og C18:3) falder, fordi de oxideres eller fordi de mættes. Derfor stiger indholdet af SFA normalt en smule, mens oliesyreindholdet er ret stabilt (se bilag 1).

Konklusion

Opvarmning af planteolier kan forringe deres kvalitet gennem oxidation. Forskellige planteolier udviser forskellig grad af følsomhed som følge af forskelle i fedtsyresammensætning og indhold af antioxidanter. Jo højere indhold af umættede fedtsyrer, jo lettere vil olien som udgangspunkt oxidere. De fleste planteolier har imidlertid et naturligt (koldpressede olier) eller tilsat (raffinerede olier) indhold af antioxidanter, der beskytter olien mod oxidation ved normal husholdningsbrug. Ifølge litteraturen vil en olie med et højt indhold af antioxidanter sandsynligvis være bedre at benytte over længere tids opvarmning, da antioxidanterne hjælper til højere stabilitet af olien.

DTU Fødevarerinstitutionen har udført et forsøg med måling af dannelse af primære oxidationsprodukter (peroxidtal) i solsikke-, raps- og olivenolie opvarmet til forskellige temperaturer. Det viser, at raffineret rapsolie er mere stabil overfor oxidation end raffineret solsikkeolie og koldpresset olivenolie. Flere studier i litteraturen, hvor der er målt andre oxidationsprodukter end peroxidtal, bekræfter, at solsikkeolie kan være mindre stabil at anvende til stegning end rapsolie. Resultaterne tyder ligeledes på, at majsolie oxiderer ligeså meget som

solsikkeolie, mens sojaolie synes at være mere stabil. Data fra litteraturen tyder ligeledes på, at rapsolie er mere stabil end olivenolie, som til gengæld synes at være lige så stabil som palmeolie, men det er svært ud fra den foreliggende litteratur at konkludere, om dette gælder uanset om olierne er raffinerede eller ej. Der er derfor behov for systematiske studier, som sammenligner effekten af stegetemperatur og-tid på stabiliteten af raffinerede og ikke-raffinerede planteolier inkl. palmeolie og kokosolie.

Da metoderne til måling af oxidation af planteolier er uspecifikke, giver de ikke oplysning om niveauet af de specifikke stoffer, der dannes ved oxidation, og som kan have sundhedsskadelige effekter. De rapporterede niveauer af primære oxidationsprodukter i planteolier, der var opvarmet på en måde, der svarer til almindelig husholdningsbrug, oversteg dog ikke de tilladte niveauer for frisk olivenolie. For at kunne vurdere hvor meget en olie skal være oxideret, før den udgør et sundhedsmæssigt problem, er der brug for mere specifikke undersøgelser af de dannede oxidationsprodukter.

Denne gennemgang har fokuseret på, hvad der sker med olierne efter opvarmning ved pandestegning og friturestegning, men ikke på hvor stor en mængde af de skadelige stoffer, der dannes ved stegningen, som optages i fødevarer, der steges. Der er behov for at finde ud af, hvilke stoffer der overføres fra olien til fødevarer ved stegning, og om de har nogen sundhedsskadelig effekt.

Dannelse af transfedtsyrer i signifikant mængde kræver, at olien udsættes for meget høje temperaturer (mindst 200°C) og opvarmning i lang tid (mindst en time ved 200°C eller mindst en halv time ved 220°C eller derover), hvilket ikke er relevant for almindelig anvendelse i husholdninger.

Et højt indhold af antioxidanter i olien hæmmer fedtsyrenedbrydningen og den varmeinducerede dannelse af transfedtsyrer.

Påstande, om at koldpressede olier som ekstra jomfruolivenolie ikke er velegnede til stegning og kun bør tilsættes maden direkte, kan ikke bekræftes af litteraturen.

Forkortelser

AV	Anisidintal
FFA	Frie fedtsyrer
IV	Jodtal
MUFA	Monoumættede fedtsyrer
PUFA	Flerumættede fedtsyrer
PV	Peroxidtal
SFA	Mættede fedtsyrer
TAG	Triglycerider
TFA	Transfedtsyrer
TPC	Totale polære forbindelser
TV	Totoxværdi

Referencer

- Aladedunye FA, Przybylski R. Degradation and nutritional quality changes of oil during frying. *J Am Oil Chem Soc* 2009;86:149-56.
- Al-Saghir S, Thurner K, Wagner KH, Frisch G, Luf W, Razzazi-Fazeli E, Elmadfa I. Effects of Different Cooking Procedures on Lipid Quality and Cholesterol Oxidation of Farmed Salmon Fish (*Salmo salar*). *J Agric Food Chem* 2004;52:5290-6.
- Andrikopoulos NK, Kalogeropoulos N, Falirea A, Barbagianni M N. Performance of virgin olive oil and vegetable shortening during domestic deep-frying and pan-frying of potatoes. *Internat J Food Sci Technol* 2002;32:177-90.
- Billek G. Health aspects of thermoxidized oils and fats. *Eur J Lipid Sci Technol* 2000;102:587-93.
- Blumenthal MM. A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying. *Food Technol* 1991;45:68-71.
- Boskou G, Salta FN, Chiou A, Troullidou E, Andrikopoulos NK. Content of trans,trans-2,4-decadienal in deep-fried and pan-fried potatoes. *Eur J Lipid Sci Technol* 2006;108:109-15.
- Brenes M, García A, García P, Garrido A. Acid hydrolysis of secoiridoid aglycons during storage of virgin olive oil. *J Agric Food Chem* 2001;49: 5609-14.
- Brenes M, García A, Dobarganes MC, Velasco J, Romero C. Influence of Thermal Treatments Simulating Cooking Processes on the Polyphenol Content in Virgin Olive Oil. *J Agric Food Chem* 2002a;50:5962-7.
- Brenes M, García A, Dobarganes MC, Velasco J, Romero C. Influence of thermal treatments simulating cooking processes on the polyphenol content in virgin olive oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2002b;50:5962-7.
- Brühl et al. Epoxy fatty acids in fats and oils and their formation during heating. Oral presentation 13th EuroFedLipid Congress, September 2015.
- Casal S, Malheiro R, Sendas A, Oliveira BPP, Pereira JA. Olive oil stability under deep-frying conditions. *Food and Chemical Toxicology* 2010;48:2972-9.
- Cheikhousman R, Zude M, Bouveresse DJR, Léger CL, Rutledge DN, Birlouez-Aragon I. Fluorescence spectroscopy for monitoring deterioration of extra virgin olive oil during heating. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 2005;382:1438-43.
- Chen Y, Yang Y, Nie S, Yang X, Wang Y, Yang M, Li C, Xie M. The analysis of trans fatty acid profiles in deep frying palm oil and chicken fillets with an improved gas chromatography method. *Food Control* 2014;44:191-7.
- Clark WL, Serbia GW. Safety aspects of frying fats and oils. *Food Technol* 1991;45:84-9.
- Daskalaki D, Kefi G, Kotsiou K, Tasioula-Margari M. Evaluation of phenolic compounds degradation in virgin olive oil during storage and heating. *J Food Nutr Res* 2009;48:31-41.
- Durmaz F, Talpur MY. Oxidation on the stability of canola oil blended with stinging nettle oil at frying temperature. *Int J Food Properties* 2015;18:1402-15.

- Filip S, Hribar J, Vidrih R. Influence of natural antioxidants on the formation of trans-fatty-acid isomers during heat treatment of sunflower oil. *Eur J Lipid Technol* 2011;113:224-30.
- Frankel EN. 2005. *Lipid Oxidation*. kap. 1.
- Fullana A, Carbonell-Barrachina AA, Sidhu S. Comparison of volatile aldehydes present in the cooking fumes of extra virgin olive, olive, and canola oils. *J Agric Food Chem* 2004;52:5207-14.
- Gómez-Alonso S, Fregapane G, Salvador MD, Gordon MH. Changes in phenolic composition and antioxidant activity of virgin olive oil during frying. *J Agric Food Chem* 2003;51:667-72.
- Gordon MH, Kourimska L. The effects of antioxidants on changes in oils during heating and deep frying. *J Sci Food Agric* 1995;68:347-53.
- Grootveld M, Ruiz-Rodado V, Silwood CJL. Detection, monitoring and deleterious health effects of lipid oxidation products generated in culinary oils during thermal stressing episodes. *Inform, American Oil Chemists' Society* 2014;25: 614-24.
- Holmer I, Jensen JS, Madsen SS. Effekten af stegetid og -temperatur på kvaliteten af spiseolier. Fagprojekt i Teknisk Biomedicin 2015.
- Hrncirik K. Stability of fat-soluble vitamins and PUFA in simulated shallow frying. *Lipid Technol* 2010;22:107-9.
- Hrncirik K, ZeelenbergM. Stability of essential fatty acids and formation of nutritionally undesirable compounds in baking and shallow frying. *J Am Oil Chem Soc* 2014;91:591-8.
- Inanc T, Maskan M. Effect of carvacrol on the oxidative stability of palm oil during frying. *Grasas Aceites* 2014;65:e042.
- Juárez MD, Osawa CC, Acuña ME, Sammán N, Aparecida L, Concalves G. Degradation in soybean oil, sunflower oil and partially hydrogenated fat safter food frying, monitores by conventional and unconventional methods. *Food Control* 2011;22:1920-7.
- Kaliora AC, Andrikopoulos NK, Dedoussis GVZ, Chiou A, Mylona A. Medium polarity lipids from fried oils promote LDL oxidation, in vitro. *Ital J Food Sci* 2003;4:511-20.
- Kalogeropoulos N, Chiou A, Mylona A, Ioannou MS, Andrikopoulos NK. Recovery and distribution of natural antioxidants (a-tocopherol, polyphenols and terpenic acids) after pan-frying of Mediterranean finfish in virgin olive oil. *Food Chem* 2007a;100:509-17.
- Kalogeropoulos N, Mylona A, Chiou A, Ioannou MS, Andrikopoulos NK. Retention and distribution of natural antioxidants (a-tocopherol, polyphenols and terpenic acids) after shallow frying of vegetables in virgin olive oil. *LWT- Food Sci Technol* 2007b;40:1008-17.
- Koh E, Surh J. Food types and frying frequency affect the lipid oxidation of deep frying oil for the preparation of school meals in Korea. *Food Chem* 2015;174:467-72.
- Liu WH, Inbaraj BS, Chen BH. Analysis and formation of trans fatty acids in hydrogenated soybean oil during heating. *Food Chem* 2007;104:1740-9.
- Man YBC, Hussin WRW. Comparison of the frying performance of refined, bleached and deodorized palm olein and coconut oil. *J Food Lipids* 1998;5:197-210.

- Marina AM, RosliWJW, Neoh SL. Frying quality of virgin coconut oil as affected by Zea mays extract. *Sains Malaysiana* 2014;43:1311-5.
- Martinez-Pineda M, Ferrer-Mairal A, Vercet A, Yagüe C. Physicochemical characterization of changes in different vegetable oils (olive and sunflower) under several frying conditions. *CyTA – Journal of Food* 2011;9:301-6.
- Matthäus B. Utilization of high-oleic rapeseed oil for deep-fat frying of French fries compared to other commonly used edible oils. *Eur J Lipid Sci Technol* 2006;108:200-11.
- Mazza G, Qi H. Effect of after-cooking darkening inhibitors on stability of frying oil and quality of French fries. *J Am Oil Chem Soc* 1992;69:847-53.
- Messina V, Biolatto A, Descalzo A, Sancho A, Baby R, Reza NW. Effect of pan-frying in extra-virgin olive oil on odour profile, volatile compounds and vitamins. *Internat J Food Sci Technol* 2009;44:552-9.
- Moreno MCM, Olivares DM, López FJA, Adelantado JVG, Reig FB. Determination of unsaturation grade and trans isomers generated during thermal oxidation of edible oils and fats by FTIR. *J Molecular Structure* 1999;482-483:551-6.
- Paul S, Mittal GS. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. *Crit Rev Food Sci Nutr* 1997;37: 635-62.
- Procida G, Cichelli A, Compagnone D, Maggio RM, Cerretani L, Carlo M. Influence of chemical composition of olive oil on the development of volatile compounds during frying. *Eur Food Res Technol* 2009;230:217-29.
- Przybylski R, Aladedunye FA. Formation of trans fats during food preparation. *Can J Diet Pract Res* 2012;73:98-101.
- Rani AKS, Reddy SY, Chetana R. Quality changes in trans and trans free fats/oils and products during frying. *Eur Food Res Technol* 2010;230:803-11.
- Romero A, Cuesta C, Sanchez-Muniz FJ. Effect of oil replenishment during deep-fat frying of frozen foods in sunflower oil and high-oleic acid sunflower oil. *J Am Oil Chem Soc* 1998;75:161-7.
- Romero A, Cuesta C, Sánchez-Muniz FJ. Trans fatty acid production in deep fat frying of frozen foods with different oils and frying modalities. *Nutr Res* 2000;20:599-608.
- Ryan LC, Mestrallet MG, Nepote V, Conci S, Grosso NR. Composition, stability and acceptability of different vegetable oils used for frying peanuts. *Internat J Food Sci Technol* 2008;43:193-9.
- Salta FN, Kalogeropoulos N, Karavanou N, Andrikopoulos NK. Distribution and retention of phytosterols in frying oils and fried potatoes during repeated deep and pan frying. *European Food Research and Technology*, 2008; 400:227-391.
- Santos CSP, Cruz R, Cunha SC, Casal S. Effect of cooking on olive oil quality attributes. *Food Research International*. 2013; 54:2016-24.
- Sebedio JL, Catta M, Boudier MA, Prevost J, Grandgirard A. *Food Res Int* 1996;29:109-16.
- Sioen I, Haak L, Raes K, Hermans C, De Henauw S, De Smet S, Van Camp J. Effects of pan-frying in margarine and olive oil on the fatty acid composition of cod and salmon. *Food Chem* 2006;98:609-17.

- Srivastava Y, Semwal AD. A study on monitoring of frying performance and oxidative stability of virgin coconut oil (VCO) during continuous/prolonged deep fat frying process using chemical and FTIR spectroscopy. *J Food Sci Technol* 2015;52:984-91.
- Tompkins C, Perkins EG. Frying performance of low-linolenic acid soybean oil. *J Am Oil Chem Soc* 2000;77:223-9.
- Tsuzuki W. Study of the formation of trans fatty acids in model oils (triacylglycerols) and edible oils during the heating process. *JARQ* 2012;46:215-20.
- Tyagi VK, Vasishtha AK. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. *J Am Oil Chem Soc* 1996;73:499-506.
- Uriarte PS, Guillén MD. Formation of toxic alkylbenzenes in edible oils submitted to frying temperature. Influence of oil composition in main components and heating time. *Food Res Internat* 2010;43:2161-70.
- Wu SC, Yen GC. Effects of cooking oil fumes on the genotoxicity and oxidative stress in human lung carcinoma (A-549) cells. *Toxic in Vitro* 2004;18:571-80.
- www.foodcomp.dk Saxholt E, Christensen AT, Møller A, Hartkopp HB, Ygil KH, Hels OH. Fødevaredatabanken, version 7. Afdeling for Ernæring, Fødevareinstituttet, Danmarks Tekniske Universitet. December 2008.
- Xu XQ, Tran VH, Palmer M, White K, Salisbury P. Chemical and physical analyses and sensory evaluation of six deep-frying oils. *J Am Oil Chem Soc* 1999;76:1091-9.
- Yang M, Yang Y, Nie S, Xie M, Chen F. Analysis and formation of trans fatty acids in corn oil during the heating process. *J Am Oil Chem Soc* 2012;89:859-67.
- Yang M, Yang Y, Nie S, Xie M, Chen F, Luo PG. Formation of trans fatty acids during the frying of chicken fillet in corn oil. *Int J Food Sci Nutr* 2014;65:306-10.
- Önal B, Ergin G. Antioxidative effects of α -tocopherol and ascorbyl palmitate on thermal oxidation of canola oil. *Nahrung/Food* 2002;46:420-6.

Bilag 1. Effekten af stegetid og -temperatur på ændringer i fedtsyresammensætning i spiseolier (primært dannelsen af transfedtsyrer). Resultat af litteratursøgning.

Søgningen gav 545 resultater, der blev suppleret med andre relevante artikler. De nedenstående referencer er vurderet at være relevante i relation til dannelse af TFA.

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
Rapsolie (raffineret)	Friturestegning, 185°C og 215°C, 7 timer/dag i 7 dage	For-stegte pommes frites der steges i 5 min. Bemærk totaltrans i olien starter på 2,4% pga deodorisering	Ingen ændring i <i>trans</i> -oliesyre, -linolsyre og -linolensyre de første 7 dage uanset temperatur. <i>Totaltrans</i> øget fra 2,4% til 3,3% ved 215°C men ikke ved 185°C	Aladedunye & Przybylski 2009
Ekstra jomfruolivenolie sml. med en fedtblanding	Friturestegning 170°C, 12 min. eller pandestegning 180°C, 6 min., 10 stegninger	Rå pommes frites	Der skete ingen øgning i indholdet af <i>trans</i> -linolsyre, men der blev fundet spor (<0,01%) af <i>trans</i> -oliesyre i nogle prøver. Fedtsyresammensætningen forblev relativt uændret: tendens til fald i PUFA (linolsyre) især ved pandestegning efter 5 stegninger	Andrikopoulos et al. 2002
Ekstra jomfruolivenolie, jomfruolivenolie (2	Friturestegning, 170°C, 9 stegninger/dag indtil TPC	Pommes frites	Ekstra jomfruolivenolien og blandingsolivenolien kunne	Casal et al. 2010

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
forskellige), blandet raffineret og jomfruolivenolie, raffineret solsikkeolie	>25%; prøver udtaget hver 3. time		bruges i 27 timer, jomfruolivenolierne i 24 timer og solsikkeolien i 15 timer før TPC>25%. FFA steg fra ca. 0,2 til 0,7 i alle olivenolier i løbet af stegetiden, mens den steg fra 0,1 til 0,2 i solsikkeolien. PV steg og faldt uregelmæssigt i de forskellige olier. Efter 3 timers stegning var AV steget mindst en faktor 5 i alle olier og stigningen fortsatte til ca. 60 for alle olivenolier og til 167 for solsikkeolien. Transfedtsyreindholdet steg fra 0,03% til 0,45% i de tre jomfruolivenolier, fra 0,1% til 0,58% i blandingsolivenolien og fra 0,27 til 0,39% i solsikkeolien i løbet af hele stegetiden. Alle ændringer i fedtsyreindhold efter 3 timers stegning var ubetydelige	
Palmeolie	Friturestegning, 150°C,	Kyllingefilet	Ingen udvikling i	Chen et al. 2014

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
	200°C, 250°C, 10 min. 8 timer (48 stegninger)/dag		translinolsyreindhold fra 2 til 8 timer ved 150°C og 200°C. Ved 250°C højere indhold ved 2 timer og fortsat stigning op til 8 timer (til 1,8%). Dannelse af translinolensyre (0,3%) efter 2 timer ved 250°C Fald i indhold af linolsyre efter 8 timer ved 150°C og 200°C men efter 4 timer ved 250°C. Lille fald i indhold af linolensyre over tid ved 150°C og 200°C; faldet mere markant efter 4 timer ved 250°C	
Rapsolie (raffineret)	Fiturestegning, 180°C, 10 timer; prøver udtaget hver anden time	Intet, kun opvarmning i gryde	Inden opvarmning var indholdet af tranoliesyre 1,08%. Translinolsyre og translinolensyre var begge 0,02%. Efter 2 timer var transoliesyre 1,28%, translinolsyre 0,05% og translinolensyre 0,02%. Lille stigning i C16:0 og C18:0 og fald i C18:3-cis. Efter 10 timer var transoliesyre 2,18%, translinolsyre 0,28% og	Durmaz et al.2015

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
			translinolensyre 0,03%. Stigning i C16:0 og C18:0, lille fald i C18:2-cis, fald i C18:3-cis. Det er ikke angivet, om forskellene er signifikante	
Solsikkeolie	Opvarmning i ovn, 185°C, 120 timer; prøver udtages hver 24 timer	Intet, kun opvarmning	Inden opvarmning var indholdet af tranfedtsyrer 0,91%. Ingen tranfedtsyreændring efter 24 timer, signifikant (p=0,05) øgning i oliesyre (25,17% til 27,82%) og fald i linolsyre (60,15% til 57,19%). Efter 120 timer signifikant øgning i transoliesyre(0,67% til 1,12%), translinolsyre (0,15% til 0,48%)	Filip et al. 2011
Solsikkeolie, rapsolie	Pandestegning, 180°C, 10 min.	For-stegte pommes frites. De angivne fedtsyreindhold efter stegning er i fedt ekstraheret fra kartoflerne	Ingen signifikant ændring i indhold af SFA, MUFA, linolsyre eller α -linolensyre. Indhold af tranfedtsyrer ændrede sig ikke signifikant: fra 0,90% til 0,91% i rapsolie, fra 0,66% til 0,68% i solsikkeolie	Hrncirik & Zeelenberg 2014
Rapsolie	Friturestegning, 180°C,	Intet, kun opvarmning	Indholdet af tranfedtsyrer	Hrncirik & Zeelenberg

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
	48 timer; prøver udtages efter 4, 8, 24 og 48 timer		steg gradvist til 1,65% efter 48 timer. Efter 8 timers opvarmning var indholdet <1,0%. Indhold af linolsyre faldt (19,2% til 18,8%) og α -linolensyre faldt (9,0% til 8,1%) efter 24 timer	2014
Sojaolie, solsikkeolie	Friturestegning, 180°C, 1-3 minutter; i alt 40-120 stegninger (14-42 timer). Prøver udtaget til analyse efter 4 stegninger	Milanesas (paneret oksekød) stegt i begge typer olie, og Churros (melbaseret "paste") kun stegt i solsikkeolie	Indholdet af transfedtsyrer steg i sojaolie fra 2,0% til 2,2% efter 14 timers stegning; og i solsikkeolie fra 1,3% til 1,6% efter 31,5 timers stegning (Milanesas) og fra 4,5% til 5,1% (Churros). Der er ingen forklaring på, hvorfor startniveauet for transfedtsyreindholdet er forskelligt (1,3% og 4,5%) ved stegning af de to typer fødevarer	Juárez et al. 2011
Sojaolie, hydrogenert og ikke-hydrogeneret	Opvarmning i gryde, 160°C, 180°C, 200°C. Måling efter 4, 8, 12, 16, 20 og 24 timer (ny olie til hver tid)	Intet, kun opvarmning	Ingen transfedtsyredannelse i den ikke-hydrogenerede olie uanset temperatur, men fald i både mættede og umættede fedtsyrer. I den hydrogenerede olie faldt indholdet af	Liu et al. 2007

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
			transfedtsyrer signifikant ved alle temperaturer efter 4 timer og faldet fortsatte; C18:1-trans faldt hurtigere end C18:2-trans. Fald i både mættede og umættede fedtsyrer, jo højere temperatur, jo hurtigere fald	
Ekstra jomfruolivenolie, solsikkeolie (almindelig, raffineret) og solsikkeolie med højt indhold af oliesyre (raffineret)	Friturestegning, 160°C. Tid angivet som "når kartoflerne var ensartet stegt"	For-stegte pommes frites	I olivenolien steg indholdet af transfedtsyrer fra 0 til <0,05% efter 10 stegninger og til ca. 0,15% efter 60 stegninger. I almindelig solsikkeolie steg transfedtsyreindholdet fra ca. 0,11% til ca. 0,14% efter 10 stegninger og til ca. 0,18% efter 60 stegninger. I høj-oliesyreholdig solsikkeolie steg transfedtsyreindholdet fra ca. 0,24% til 0,28% efter 10 stegninger og til ca. ca. 0,37% efter 60 stegninger	Martinez-Pineda et al. 2011
Olivenolie, solsikkeolie, majsolie,	Opvarmning i porcelænsskål, 80°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C; 20 eller 40	Intet, kun opvarmning	Transfedtsyrer >1,5% i olivenolie ved 250°C i 40 minutter, i solsikkeolie ved 250°C i 20 minutter, i	Moreno et al. 1999

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
	minutter		majsolie ved 300°C i 20 minutter. Andelen af umættede fedtsyrer faldt ved 200°C, faldet var markant ved 200°C og 40 minutter eller ved højere temperatur	
Rapsolie (raffineret)	Stir-frying, 200°C og 275°C, stegetid ikke angivet	Kyllingefilet (resultater efter stegning er i fedt ekstraheret fra kyllingen)	Indholdet af SFA, MUFA og PUFA ændrede sig ikke signifikant ved stegningen. Indholdet af transfedtsyrer steg ikke-signifikant fra 1,97% til 2,03% (200°C) eller 2,22% (275°C)	Przybylski et al. 2012
Ekstra jomfruolivenolie, solsikkeolie (almindelig, raffineret) og solsikkeolie med højt indhold af oliesyre (raffineret)	Friturestegning, 180°C, 3-8 minutter; prøver udtaget efter 8 og 20 stegninger (ca. 100 minutter). Forsøget udført både med og uden efterfyldning af olie	Forskellige fødevarer (bl.a. for-stegte pommes frites, fish fingers, tun, croquettes) blev stegt på skift	<i>Efterfyldning:</i> Der blev ikke fundet transfedtsyrer i olivenolien ved start og efter 8 stegninger. Efter 20 stegninger var der dannet 2,4 mg/g (0,24%) C18:1-trans. Indholdet af transfedtsyrer i solsikkeolie var ca. 2,7 mg/g olie ved start og efter 8 stegninger og steg til 3,9 mg/g efter 20 stegninger. Indholdet i højoliesyre solsikkeolie var 1,4 mg/g ved start, 2,3 mg/g efter 8 stegninger og 3,4	Romero et al. 2000

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
			<p>mg/g efter 20 stegninger.</p> <p><i>Uden efterfyldning:</i> Der blev ikke fundet transfedtsyrer i olivenolie efter 8 stegninger; indholdet var 4,1 mg/g efter 20 stegninger. Transfedtsyreindholdet i solsikkeolie var ca. 2,7 mg/g olie efter 8 stegninger og steg til 4,8 mg/g efter 20 stegninger. Indholdet i høj-oliesyre solsikkeolie var 2,3 mg/g efter 8 stegninger og 4,2 mg/g efter 20 stegninger.</p>	
Solsikkeolie (raffineret)	Fiturestegning, 180°C, prøver udtaget efter 8, 16 og 24 timer	Intet, kun opvarmning i gryde	<p>Indholdet af SFA (C16:0 og C18:0) og oliesyre (C18:1-<i>cis</i>) steg gradvist og indholdet af linolsyre(C18:2) faldt gradvist i løbet af 24 timer (alle signifikant). Indholdet af C18:1-<i>trans</i> kunne ikke måles efter 8 og 16 timer, men var 0,7% efter 24 timer. Der blev ikke rapporteret C18:2-<i>trans</i> men det anføres, at selv</p>	Rani et al. 2010

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
			efter 24 timer var der ikke dannet en signifikant mængde transfedtsyrer i olien	
Peanutolie og sojaolie (raffinerede)	Friturestegning, 180°C, 200°C, 220°C; hver stegning 5 minutter, i alt 30 stegninger	For-stegte pommes frites	<p>Indholdet af <i>trans</i>-linolensyre i sojaolien var 0,6% ved start; ændrede sig ikke ved stegning ved 180°C og kun marginalt ved 200°C, men steg til 2,0% ved 220°C efter 30 stegninger. Indholdet af <i>trans</i>-linolsyre var 0,5% ved start og ændrede sig ikke ved 180°C og 200°C men steg til 0,9% efter 20 stegninger og til 1,3% efter 30 stegninger ved 220°C.</p> <p>I peanutolie var <i>trans</i>-linolsyreindholdet 0,5% ved start, ændrede sig ikke ved 180°C og 200°C, steg til 0,8% efter 20 og 30 stegninger ved 220°C.</p> <p>Det er ikke anført om forskellene er signifikante</p>	Sebedio et al. 1996
Rapsolie, majsolie, tidselolie, sesamololie	Opvarmning i små reagensglas (1 g olie),	Intet, kun opvarmning	Ingen ændring i indhold af transfedtsyrer i rapsolie og	Tsuzuki 2012

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
(raffinerede)	180°C, 4 timer		majsolie efter 4 timer; indhold i tidselolie og sesamoliesteg signifikant fra henholdsvis 0,3% til 0,37% og fra 0,47% til 0,86%	
Majsolie (raffineret)	Friturestegning, 180°C, 30 stegninger	Pommes frites	Ingen ændring i indhold af transfedtsyrer	Tsuzuki 2012
Majsolie	Opvarmning 140°C, 160°C, 180°C, 200°C, 220°C, 240°C, 260°C. Prøver udtaget efter 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 og 12 timer	Intet, kun opvarmning	Ved 140°C blev der ikke dannet transfedtsyrer. Ved 160°C var der en signifikant stigning i trans-C18:1 efter 12 timer. Ved 180°C steg trans-C18:1 efter 8 timer og trans-C18:2 efter 4 timer. Ved 200°C steg trans-C18:1 efter 4 timer og trans-C18:2 efter 2 timer. Ved 220°C steg trans-C18:1 efter 2 timer og trans-C18:2 efter 4 timer. Ved 240°C steg trans-C18:1 efter 2 timer og trans-C18:2 efter 1 time. Ved 260°C steg trans-C18:1 og trans-C18:2 efter 1 time. Det samlede transfedtsyreindhold	Yang et al. 2012

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
			<p>oversteg først 2% ved 220°C i 12 timer eller ved 240°C i 4 timer eller ved 260°C i 2 timer.</p> <p>Ved $\geq 200^\circ\text{C}$ faldt indholdet af cis-C18:2 og cis-C18:3 over tid; mest ved høj temperatur</p>	
Majsolie (raffineret)	<p>Friturestegning, 170°C, 12 stegninger á 4 minutter.</p> <p>Olie var også opvarmet til 170°C i 2 timer uden kylling som kontrol</p>	Kyllingefilet.	<p>Indholdet af transfedtsyrer (især trans-C18:2) faldt fra 1,2% til 0,7% efter 3 stegninger og forblev derefter konstant. Indholdet i kyllingefilet ændrede sig ikke.</p> <p>Der var ingen forskel i transfedtsyreindhold mellem frisk olie og olie opvarmet uden kylling</p>	Yang et al. 2014
Rapsolie	Friturestegning, 190°C, 1 gang á 5-6 minutter per dag i 10 dage; eller 1 gang/uge i 10 uger (olien blev filtreret mellem stegninger)	Pommes frites	<p>Indholdet af SFA (C16:0 og C18:0) steg lidt i løbet af de 10 stegninger. Indholdet af oliesyre C18:1 var uændret; LA faldt fra ca. 20% til 19%; ALA faldt fra 7,5% til 6,4% (daglige stegninger) eller 6,0 (ugentlige stegninger). Der blev ikke målt</p>	Önal & Ergin 2002

Olietype	Stegemetode, temperatur og stegetid	Stegemedium	Resultat	Reference
			transfedtsyrer. Det blev vurderet sikkert at bruge olien henholdsvis 8 og 7 gange.	

Fødevareinstituttet
Danmarks Tekniske Universitet
Mørkhøj Bygade 19
2860 Søborg

T: 35 88 70 00
F: 35 88 70 01
www.food.dtu.dk

ISBN: 978-87-93109-76-6