



## Naturlige tilsætningsstoffer

Ny viden og forskning indenfor teknologiske muligheder, sunde fødevarer og klimaneutralitet



September 2021



**Food & Bio Cluster**  
Denmark

# Indholdsfortegnelse

<b>1. INDLEDNING .....</b>	<b>3</b>
<b>2. FORBRUGERNES HOLDNINGER .....</b>	<b>5</b>
2.1 Naturlighed.....	6
2.2 Forskellige typer teknologisk naturlighed .....	6
<b>3. NATURLIGE TILSÆTNINGSSTOFFER - NY VIDEN OG FORSKNING .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Konservering og holdbarhed .....</b>	<b>8</b>
Mikrobielle kulturer .....	8
Naturlige antioxidanter fra planter .....	10
Enzymer i brødfremstilling .....	11
<b>3.2. Smagsregulering .....</b>	<b>12</b>
Umami og kokumi .....	13
Mikrobielle kulturer .....	14
<b>3.3. Struktur og viskositet .....</b>	<b>15</b>
Mikrobielle kulturer .....	16
Ostepulver.....	16
Peptider .....	17
Oleogeler.....	17
Emulsioner og skum stabiliseret af partikler (Pickering systems) .....	18
<b>3.4. Farveoptimering .....</b>	<b>19</b>
Naturlige farvestoffer og nye trends .....	19
Farveoptimering ved hjælp af mikroorganismer .....	20
<b>3.5 Sundhedsfremme .....</b>	<b>21</b>
Langkædede omega-3 fedtsyrer .....	21
Calcium .....	22
Probiotika og andre mikrobielle kulturer og medier .....	23
Bioaktive peptider.....	23
<b>3.6 Øvrige funktioner.....</b>	<b>25</b>
<b>4. KONKLUSION.....</b>	<b>26</b>
<b>5. REFERENCER.....</b>	<b>27</b>

*Rapporten er udarbejdet af lektor Jeanette Otte og Professor Mogens L. Andersen med bidrag fra kolleger på Institut for Fødevarevidenskab, Københavns Universitet. Den er blevet til på efterspørgsel fra Food & Bio Cluster Denmark med støtte fra Uddannelses- og Forskningsstyrelsen.*

# Indledning

Det globale befolkningstal stiger og verden har brug for flere fødevarer, som samtidigt skal være mere bæredygtigt producerede og sundere (mere ernæringsrigtige). Anvendelse af flere ingredienser og tilsætningsstoffer kan bidrage til at opnå dette sammen med bedre udnyttelse af restprodukter og sidestrømme fra råvarer og fødevarerproduktion. Tilsætningsstoffer som fx konserveringsmidler får fødevarerne til at holde længere, også under transport, og er dermed en faktor i at udnytte ressourcerne bedre og mindske madspild. Sidestrømme kan omdannes til ingredienser og/eller tilsætningsstoffer, fx ved brug af enzymer (bio-processering). Danske virksomheder er verdensførende på markedet for ingredienser og tilsætninger, som fx enzymer og fortykningsmidler, og de kan gennem stor viden og teknologisk indsigt have en betydelig indflydelse på brugen af tilsætningsstoffer i fremtidens fødevarer (DTU Rapport, 2016; Sektorudviklingsrapport, 2016).

Samtidig skal fødevarer leve op til forbrugernes krav og præferencer. Tilsætningsstoffer bekymrer omkring 1/3 af Danmarks befolkning, når de køber ind (Hansen, 2020). Der er en tendens til, at forbrugerne vil have både sundere og mere bæredygtige fødevarer, men også ønsker mere ”autentiske” fødevarer, dvs. lokale produkter, mindre forarbejdede, og hvor de enkelte fødevarer, som indgår i produkterne, er genkendelige (Sektorudviklingsrapport, 2016). Herudover er der også et stort købedygtigt segment, som ønsker flere ”convenience”-produkter, fx sunde færdigretter. Forbrugernes skeptiske holdning til tilsætningsstoffer er nok den væsentligste udfordring, specielt set i lyset af, at de er nødvendige for at lave mere bæredygtige fødevarer, bl.a. ved at flere dele af plantebaserede råvarer kan udnyttes bedre i form af forarbejdede fødevarer og ved fremstilling af fødevarer ved hjælp af nye teknikker som 3D-printning.

Tilsætningsstoffer er stoffer, der ikke selv er fødevarer eller sædvanligt anvendte bestanddele af sammensatte fødevarer, og tilsættes fødevarer for at påvirke fx næringsværdi, holdbarhed, konsistens, farve, lugt, smag m.m. (Fødevejledningen, 2020). Med andre ord er tilsætningsstoffer ikke fødevarer i sig selv eller hovedbestanddele i sammensatte fødevarer, men stoffer, der tilsættes i en mindre mængde for at give en bestemt teknologisk effekt eller funktionalitet, dvs. egenskab, i fødevareren.

Foruden de egentlige tilsætningsstoffer, som skal være godkendte og have et E-nummer, er der også andre fødevarer-tilsætninger som ikke har E-numre, fx aromastoffer, enzymer og andre tekniske hjælpestoffer (Fødevarestyrelsen, 2020a) og endvidere vitaminer, mineraler og andre næringsstoffer, som bruges til at berige fødevarer (se fx VEJ nr. 9682 af 11/07/2019).

Tilsætningsstoffer med E-numre er fx farvestoffer (E100-199), konserveringsstoffer (E200-299), antioxidant (E300-399), konsistensmidler (E400-499), salte, syrer og baser (E500-530), smagsforstærkere (E620-640), sødestoffer (E950-967), og andre stoffer, eksempelvis antiklumpningsmidler (op til E1414) (Fødevarestyrelsen, 2020b).

Et teknisk hjælpestof er ethvert stof, der ikke indtages som fødevarer i sig selv, men som anvendes for at opfylde et bestemt teknologisk formål under behandlingen eller forarbejdningen af fødevarer (<https://www.foedevarestyrelsen.dk/Leksikon/Sider/Tekniske-hjaelpestoffer-foedevarer.aspx>). Det kan fx være et skumdæpningsmiddel, som anvendes under vask af kartoffelbåde, og som skylles af inden videre forarbejdning, eller et enzym som tilsættes for at give en bestemt effekt, og inaktiveres inden pakning eller salg.

Aromastoffer tilsættes fødevarer for at forbedre eller ændre fødevarernes smag og duft. Kun de aromastoffer, der er optaget på EU-listen, må anvendes i eller på fødevarer. Simple koncentreter af fx kaffe, appelsiner og tilsvarende, der stammer fra egentlige fødevarer, skal dog ikke godkendes og optages på listen før brug (<https://www.foedevarestyrelsen.dk/Leksikon/Sider/Aroma.aspx>).

Enzymer bliver anvendt i ca. 80% af de forarbejdede fødevarer, man finder i et supermarked (<https://www.foedevarestyrelsen.dk/Leksikon/Sider/Enzymer.aspx>). Alle enzymer, der bruges i danske fødevarer, gennemgår en grundig risikovurdering, inden de godkendes af Fødevarestyrelsen. Nogle enzymer anvendes som tilsætningsstoffer og har et E-nummer (fx invertase og lysozym), mens andre anvendes som tekniske hjælpestoffer. Andre enzymer igen anvendes med et ernæringsmæssigt eller fysiologisk formål, fx i kosttilskud. Disse er underlagt andre regler end fødevarer. Enzymer kan oprenses fra materiale, der findes i naturen eller fra mikroorganismer, der dyrkes under specifikke betingelser.

Tilsætningsstoffer kan fremstilles syntetisk eller udvindes fra dyr, planter, mikroorganismer eller mineraler. Naturligt fremstillede tilsætningsstoffer er stoffer, som ekstraheres, dvs. trækkes ud fra naturlige kilder, typisk planter, dyr, svampe eller bakterier.

I denne rapport anvender vi ordet ”tilsætningsstoffer” i bred forstand, idet vi foruden regulære tilsætningsstoffer (med E-numre) medtager andre tilsætninger og ingredienser, herunder næringsstoffer, som kan tilsættes til fødevarer i mindre mængder. Med ”naturlige” tilsætningsstoffer mener vi stoffer, som er ekstraheret fra planter, dyr, svampe eller mikroorganismer. Men det kan også være nært beslægtede stoffer/ingredienser, som er dannet ud fra naturlige substrater, fx ved

anvendelse af naturlige bakterier eller enzymer, så som hydrolysater af proteiner, ostepulver, eller bakteriekulturer og enzymer i sig selv.

Institut for Fødevarevidenskab på Københavns Universitet (KU FOOD) udfører forskning og uddannelse, der er med til at løse de globale udfordringer på fødevareområdet. På KU FOOD har vi en omfattende viden om anvendelsen og forarbejdning af fødevarer. Vi udfører grundlæggende og anvendt forskning, ofte i tæt samarbejde med fødevare- og ingrediensindustrien, med henblik på at optimere eksisterende og ny procesteknologi i forhold til mere bæredygtige processer, herunder udnyttelse af sidestrømme. Vi arbejder også på at forbedre det færdige produkt ift. holdbarhed, funktionalitet og ernæringsmæssig kvalitet, og har bl.a. fokus på struktur, mikroorganismers funktionalitet, sensorisk perception, smag og forbruger-accept og -adfærd.

Formålet med denne rapport er at indsamle den nyeste viden om naturlige tilsætningsstoffer, herunder nye stoffer, nye trends og igangværende forskning på KU FOOD.

## **2. Forbrugernes holdninger**

Tilsætningsstoffer kan blandt andet anvendes til at forlænge holdbarheden af fødevarer, og derigennem sikre, at de kan sælges i detailledet som convenience (f.eks. udskåret frugt eller friskpressede grøntsagsdrikke der tilsættes lidt askorbinsyre, for at forhindre brunfarvning). Men bortset fra krydderier anvender mange forbrugere ikke tilsætningsstoffer i den daglige madlavning og disse kan derfor virke fremmede og unaturlige. Derfor har forbrugere naturligvis forskellige overvejelser omkring brugen af tilsætningsstoffer i deres mad, som en del af deres samlede afvejninger i deres fødevarevalg.

Coop Analyse gennemfører løbende undersøgelser af danskernes meninger, holdninger og adfærd i relation til forskellige fødevarer og fødevarerelaterede emner, ved at spørge ca. 1000 danskere, for at opnå et repræsentativt billede af befolkningens holdninger. Omkring tilsætningsstoffer viser de at 37% forsøger at undgå tilsætningsstoffer i deres fødevarer (Coop Analyse, 2018). Når man ser på holdningen til forskellige typer af tilsætningsstoffer, er der nogle forskelle (Coop Analyse, 2017). Topscoreren er farvestoffer, som 41% søger specifikt undgå, dernæst kunstige sødestoffer (32%), konserveringsmidler (25%), smagsforstærkere (21%), og konsistensmidler (16%). Så det er en

betragtelig andel af forbrugerne, der foretrækker og i deres adfærd går mod fødevarer med få eller ingen tilsætningsstoffer.

## **2.1 Naturlighed**

På et overordnet niveau beskrives megatrenden om at spise ”rene” fødevarer som ”clean label” (Asioli et al., 2017). Forbrugerne opfatter nogle produktionsmetoder som mindre ”naturlige” (f.eks. konventionelt ift. økologisk landbrug), mens nogle fødevarer komponenter anses for at være ”usunde” og ”ukendte” (f.eks. tilsætningsstoffer). En oversigtsartikel gennemgik systematiske undersøgelser af vigtigheden af fødevarers oplevede ”naturlighed” i 72 studier i 32 overvejende højindkomstlande, med i alt mere end 85.000 forbrugere (Román et al., 2017). Konklusionen af undersøgelsen er, at madens naturlighed er essentiel for flertallet af forbrugerne.

Derfor kan det koste meget dyrt at ignorere aspekter omkring forbrugeres oplevede naturlighed. Det bør man som fødevarerproducent medtænke under udviklingen af nye teknologier og ingredienser. Det udgør både en mulighed og en trussel for fødevarerindustrien. Især ingredienser, herunder tilsætningsstoffer, men også produktionsprocesser, emballage og markedsføring skal kombineres på en måde, så forbrugerne opfatter nye produkter som naturlige fødevarer, fordi de ligner de mere traditionelle (Román et al., 2017).

For danske småbørnsfamilier peger forskningen på, at de ser naturlighed i deres fødevarer som en ansvarlig strategi til at beskytte deres børn, og minimere farer gennem hverdagens forbrugspraksis (Andersen & Holm, 2018). De har derfor et forbrugsmønster, hvor man tyr til naturlighed som en sikker havn, for at undgå risici i hverdagen.

## **2.2 Forskellige typer teknologisk naturlighed**

De associationer en forbruger får fra en fødevarer teknologi, og hvor naturlig den opfattes afhænger af flere faktorer. Det påvirkes både af tilliden til industrien, lovgivningssystemet, og forskellige træk hos forbrugeren (tendens til at prøve nye fødevarer, tendens til afsky og personlige/kulturelle værdier). Klassiske teknologier er mere velkendte, og de anses derfor som mere naturlige, og afledt deraf også sundere (Siegrist & Hartmann, 2020). Et eksempel på en meget velkendt teknologi er

pasteurisering, mens en meget yngre teknologi som ”pulsed-electrical field processing” (PEF), der er mere ukendt, vurderes til at være mindre naturlig (Siegrist & Hartmann, 2020). For tilsætningsstoffer gælder de samme principper, så hvis et givet stof, fx citronsyre, også præsenteres med sit E-nummer (E330), anses det som mere unaturligt end hvis det kun er angivet med det velkendte og letforståelige ”citronsyre” (Siegrist & Sütterlin, 2017). I udviklingen af nye ingredienser og tilsætningsstoffer er det derfor vigtigt for forbrugeraccepten, at de kan forklares og præsenteres som naturlige på en troværdig måde. I valg af de processer, som bruges til at producere et tilsætningsstof, skal man derfor kunne tåle gennemsigtighed.

I de kommende år spås en stor vækst i efterspørgslen på plantebaserede fødevarer. Men innovation på dette strategisk vigtige område forudsætter at forbrugerne accepterer de nye produkters ingredienser. Et godt pejlepunkt for dem er ”clean label”. En trussel mod deres succes vil være nogle forbrugeres bekymringer vedrørende forarbejdning og tilsætningsstoffer i plantebaserede fødevarer (Aschemann-Witzel et al., 2020).

Der er dermed god grund til at investere i forskning for at sikre en høj forbrugeraccept af nye naturlige tilsætningsstoffer. Der er dog også grund til kontinuert at forske i og udvikle deres egenskaber i de færdige fødevarer, så kvaliteten af dem er konsistent og høj.

### **3. Naturlige tilsætningsstoffer - ny viden og forskning**

Tilsætningsstoffer anvendes som nævnt for at forbedre fødevarernes egenskaber, såsom længere holdbarhed, convenience, bedre smag, konsistens og udseende. Fødevarer kan også beriges med næringsstoffer som vitaminer og mineraler eller andre stoffer, som fremmer sundhedsværdien. I forordningen om fødevaretilsætningsstoffer (EF 1333/2008, Bilag 1) er tilsætningsstoffer inddelt i 27 grupper. Disse er for oversigtens skyld i dette afsnit samlet i 5 overordnede grupper efter den ønskede egenskab de giver fødevareren, og stoffer med sundhedsfremmende egenskaber er også medtaget som en separat overordnet gruppe. Under hver overordnede gruppe beskrives nærmere en række naturlige tilsætningsstoffer/andre tilsætninger med udvalgte egenskaber, hvor der er sket ny udvikling eller som er genstand for intens forskning.

### **3.1 Konservering og holdbarhed**

Konserveringsstoffer forlænger en fødevarers holdbarhed ved at beskytte mod ødelæggelse forårsaget af mikroorganismer og/eller mod vækst af sygdomsfremkaldende bakterier. For eksempel kan tilsætning af syre eller andre surhedsregulerende stoffer til fødevarer bevirke, at mange af disse uønskede mikroorganismer vokser dårligt, og dermed at holdbarheden forlænges.

En anden gruppe af stoffer, som er med til at forlænge fødevarers holdbarhed, er antioxidanter, der beskytter mod ødelæggelse på grund af iltning, fx harskning og misfarvning. ”Kompleksdannere” er stoffer, der danner kemiske forbindelser med metalioner. De kan også fungere som antioxidanter, men kan også bruges til at stabilisere fødevarer på andre måder.

Selvom mange af de anvendte antioxidanter findes naturligt i fødevarer, fremstilles de ofte syntetisk. For eksempel fremstilles deciderede konserveringsmidler (fx sorbater, sulfid, benzoesyre, eddikesyre og mælkesyre) ofte syntetisk. Dog udvindes nogle E-vitaminer (tocoferoler) og lecitin fra planteolier, sidstnævnte også fra æggeblommer, og vinsyre fås som et restprodukt ved vinframstilling.

Mikrobielle kulturer kan anvendes som naturlige tilsætninger til at konservere forskellige fødevarer. Mikroorganismene virker ved at fermentere (forgære) fødevarerne og bidrager dermed til syring og konservering af fødevarer, som fx under yoghurt-framstilling, alkohol- eller eddikeframstilling, men kan derudover have en lang række andre funktionaliteter.

Planter er en stor kilde til naturlige antioxidanter (polyphenoler og carotenoider), og plantedele eller ekstrakter kan bruges som tilsætning til fødevarer for at mindske iltning af fx fedtstoffer.

Herudover kan fx peptider og enzymer også bidrage til at stabilisere fødevarer i længere tid, fx enzymer som tilsættes under framstilling af brød.

#### **Mikrobielle kulturer**

Mikrobielle kulturer tilsættes mange forskellige fødevarer/drikkevarer og udvikling, framstilling og brug af disse udgør en hjørnesteen i fødevarerindustrien i DK. Mikroorganismene kan være bakterier, gær og skimmelsvampe og formålet kan både være en konserverende effekt og en ønsket ændring af fødevarens sensoriske egenskaber (smag, duft eller tekstur) som i traditionelle fermenteringer, men



kan også omfatte sundhedsassocierede aspekter fra ønskede ændringer af mikroorganismene i vores tarmsystem (vores tarmmikrobiom) til produktion af B12 vitamin eller nedbrydning af uønskede stoffer i plantematerialer. Der kan ofte være tale om brug af flere organismer samtidigt med forskellige egenskaber, hvilket stiller store krav til forståelsen af mikroorganismene, deres interaktion med hinanden, processerne og den pågældende fødevarerematrix. KU FOODs instrumentelle platform for fermentering er blevet væsentligt udvidet, hvilket også gør sig gældende for platformene for kemisk "fingerprinting", og der er dermed skabt et meget stærkt grundlag for at koble metabolitdannelsen med de mikrobiologiske data. På KU FOOD foregår en omfattende forskning inden for området både i forhold til nyttige og til problemvoldende mikroorganismer. Meget af denne forskning foregår i samarbejde med industrien, men der har også været fokus på at forbedre processer i udviklingslande (Padonou et al., 2010). I sidstnævnte indgår ofte andre species end hvad der typisk kendes fra europæiske produkter. Erfaringerne herfra vil bl.a. blive anvendt i flere nye aktiviteter med fermenterede plantematerialer til human konsum.

På KU FOOD er der stor erfaring i at undersøge forskellige faktoreres indflydelse på holdbarhed, herunder at karakterisere og forudsige hvordan konserverende stoffer påvirker patogener eller fordærvelsesorganismer. Forskningen kan hjælpe til at kvantificere hæmmende effekter og forstå mekanismer, men også til at forstå forskelle mellem kvalitetsødelæggende eller patogene organismers respons over for forskellige stoffer og dermed hjælpe til at målrette evt. tiltag. Dette kan omfatte alt fra fx humle-tolerancen hos øl-fordærvende mælkesyre bakterier (Zhao et al., 2017) til tolerance hos nogle skimmelsvampe over for specifikke stoffer (Aunbjerg et al., 2015a), resistensudvikling hos patogener over for antimikrobielle peptider (Gravesen et al., 2002), følsomhed af patogene bakterier over for forskellige syrer eller honningtyper (Matzen et al., 2018; Nielsen & Knøchel, 2020) mm. Der benyttes mange forskellige metoder til at måle hæmningseffekter på forskellige detaljeringsniveauer, hvoraf flere er udviklet på KU FOOD (Aunbjerg et al., 2015b).

Mikroorganismer kan interagere på forskellig vis, og der er kommet stor interesse for kulturer brugt som biobeskyttende kulturer, dvs. kulturer, der mere specifikt hæmmer bestemte patogener eller dominerende fordærvelsesorganismer ved at producere antimikrobielle stoffer eller konkurrere om bestemte næringsstoffer uden at ændre fødevarens karakter. Selvom det er nødvendigt med kendskab til både de biobeskyttende kulturer og deres virkningsmåde, målorganismene og den relevante fødevarerematrix for at kunne optimere brugen, er det et område i vækst, da godkendte mikroorganismer er en generelt velaccepteret "clean label" form for tilsætning. På KU FOOD

arbejdes der både med forskellige bakterier, gær og skimmelsvampe inden for dette område (Huang et al., 2021; Shi et al., 2021).

### **Naturlige antioxidanter fra planter**

Antioxidanter fra planter som kan bruges til at forlænge holdbarheden af fødevarer er især plantephenoler (fx anthocyaniner, flavonoider m.fl), carotenoider, tocoferoler og tocotrienoler. Udover den konserverende effekt i fødevarer har der generelt været en større interesse i plantephenolers og andre naturlige antioxidanters potentielle sundhedsfremmende egenskaber. Dette har medført, at der er publiceret et meget stort antal videnskabelige studier, som har påvist udmærkede antioxidative egenskaber for et stort antal isolerede (rene) eller blandinger af (ekstrakter) naturlige antioxidanter. Imidlertid afhænger effekten af naturlige antioxidanter i høj grad af sammensætningen og strukturen af den specifikke fødevarerematrix de anvendes i, hvilket ofte gør det svært at overføre disse studiers resultater direkte til konkret anvendelse som tilsætningsstof i specifikke fødevarer.

Ved KU FOOD har vi arbejdet med at forstå naturlige antioxidanters virkemåde med henblik på at kunne opstille mere generelle retningslinjer for deres optimale anvendelse i fødevarer. Dette har blandt andet involveret hvorledes tilstedeværelsen af forskellige antioxidanter (enten naturligt forekommende eller tilsatte) giver synergistiske effekter, hvor den samlede holdbarhedsforlængelse er større end summen af de forventede bidrag fra de enkelte antioxidanter (Yin et al., 2012). Udover den holdbarheds-forlængende reaktion, hvor antioxidanterne fjerner reaktive radikaler der medfører oxidation af umættede lipider, så kan antioxidanterne ofte også reparere hinanden, hvorved f.eks. henfaldet af ernæringsvigtige antioxidanter, såsom alfa-tocopherol, forhindres ved tilstedeværelse af plantephenoler. Når phenoler udøver deres antioxidative effekt oxideres de til quinoner som er meget reaktive over for proteiner, og som dermed fører til modifikation af disses egenskaber (Lund, 2021). Naturlige phenoler har desuden vist sig at kunne have en hæmmende effekt på Maillard reaktioner, hvilket bidrager til forlængelse af holdbarhed (Lund, 2021).

Effektiviteten af naturlige antioxidanter afhænger desuden af den specifikke placering i fødevarerematrixen i forhold til, hvor de oxidationsfølsomme ingredienser er placeret. Ved stabilisering af lipid-emulsioner vil en placering i olie-vand grænsefladen være optimal og vekselvirkninger med andre overfladeaktive forbindelser kan derfor have stor betydning.

I stedet for at tilsætte antioxidanter til selve fødevaren er det også undersøgt om holdbarhedsforlængelse kan opnås ved at applicere antioxidanter på overfladen af fx kødstykker eller inkorporeret i emballagefilm, som er i tæt kontakt med fødevaren (Ribeiro et al., 2019).

Mange antioxidanter (fx askorbinsyre og polyphenoler) er reducerende forbindelser (dvs. nemme at oxidere). Denne egenskab gør dem imidlertid også ofte til gode prooxidanter dvs. i stand til at øge hastigheden af oxidationsreaktioner. Hvorvidt de antioxidative eller prooxidative egenskaber er dominerende vil ofte afhænge af vekselvirkninger med tilstedeværelsen af sporniveauer af jern og kobber (Pagenstecher et al., 2021).

Man kan også bruge peptider med antioxidative og antimikrobielle egenskaber til at forlænge holdbarheden af fødevarer. Mange peptider og protein-hydrolysater med antioxidative og antimikrobielle egenskaber er blevet lavet i laboratoriet ud fra forskellige proteinkilder. Hvis disse iblandes eller påføres fødevarer, kan de i princippet også bruges til at forlænge holdbarheden. Kun få studier har vist dette, fx er det blevet vist at valleprotein, kasein- og kartoffeprotein-hydrolysater tilsat til findelte kødprodukter (i mængder på 0.05 til 4%), har forsinket fedtoxidationen i produkterne og dermed givet længere holdbarhed, med bedre effekt jo højere anvendt dosis (Wang & Xiong, 2005, Rossini et al., 2008). Kommercielle mælkeprotein-hydrolysater fx fra Arla Foods amba har også antioxidative egenskaber. Det er muligt, at denne egenskab anvendes kommercielt i fødevarer.

### **Enzymer i brødfremstilling**

Enzymer bruges i brødindustrien til at forbedre kvaliteten og forlænge holdbarheden af brødet. I mange år har man tilsat malt, som har et naturligt indhold af enzymet  $\alpha$ -amylase, til dejen for at opnå den rette kulhydratsammensætning i brødet. Mikrobielle  $\alpha$ -amylaser anvendes i dag, da de er mere termostabile end  $\alpha$ -amylaser fra korn. Enzymerne medvirker til at danne mere forgærbart sukker samtidig med, at viskositeten mindskes under forklisteringen, hvilket bevirker et øget brødvolumen og en mere homogen krummestruktur. En anden vigtig grund til at tilsætte amylaser i brødindustrien er for at forbedre holdbarheden. Når brødet køler af i timerne efter bagning, skabes et netværk hvori de forklistrede stivelseskorn er indlejret. Der sker en omkrystallisering af amylopektins sidekæder som over tid medvirker til et hårdere/mere tørt brød (= ”staling”). Mekanismerne bag er ikke helt forstået, men nogle af de vigtigste ændringer sker i stivelsesstrukturen, vandfordelingen og interaktionerne mellem stivelse og gluten (Fadda et al., 2014).

På KU FOOD forskes der i at forbedre metoden til at bestemme ”staling” og for at forstå mekanismerne bag dette bedre. Dette gøres fx ved at sammenligne forskellige enzymer under forskellige procesforhold og med forskellige råvaremix og ved at teste nye spektroskopiske metoder på brød under lagring (Amigo et al., 2016; Amigo et al., 2019, Amigo et al., 2021, Ringsted et al., 2017).

### 3.2. Smagsregulering

Udover regulering af surheden for at øge holdbarheden, anvendes surhedsregulerende stoffer også til at give en tilpas syrlig smag. Sødestoffer anvendes til at give fødevarer en sød smag eller sødestoffer til bordbrug. Velkendte sødestoffer som aspartam og xylitol fremstilles syntetisk ud fra naturligt forekommende byggesten, mens stevia udtrækkes fra bladene fra Stevia-planten.

Smagsforstærkere forstærker en fødevarers smag og/eller lugt eller mundfyldte. Aminosyrerne glutaminsyre og glycin (fx udvundet fra hvede, soja eller grøntsager) og deres salte anvendes som smagsforstærkere.

Endelig kan smag og lugt (aroma) reguleres med tilsætning af aromastoffer, fx ekstrakter udvundet af planter. Det er også muligt at påvirke smagen af fødevarer ved tilsætning af andre naturlige stoffer, fx peptider/hydrolysater, bakteriekulturer, fermenterede produkter eller enzymer.

Regulering af smag med rene eller naturlige tilsætningsstoffer kan foregå med stoffer, der direkte bidrager med grundsmagene sur, sød, salt, bitter og umami samt via interaktioner mellem de forskellige grundsmage (Mouritsen og Styrbæk, 2017). Eksempelvis kan surhed reguleres med fx. eddiker, citrussaft og forskellige organiske syrer som æblesyre, citronsyre, vinsyre osv. Sødhed kan reguleres med mono- og disaccharider, som har forskellig sødeevne, og det samme gælder en lang række naturlige polysaccharider. Bitter smag kan reguleres med kinin eller visse alkaloider.

Et eksempel på interaktioner er, at umami kan forstærke smagen af salt og sødt og sænke intensiteten af bitter smag. Desuden kan visse aromastoffer have indirekte indflydelse på den oplevede smag og smagsintensitet, fx gennem kongruens. Som eksempel vil vaniljearoma forstærke smagsoplevelsen af sødhed.

Den femte grundsmag, umami, fortjener en særlig omtale, fordi den har en speciel status i forbindelse med smagsregulering og smagsforstærkning. Desuden må umami forventes at komme til at spille en særlig rolle i den grønne omstilling mod en mere plantebaseret kost med mindre kød (Styrbæk og Mouritsen, 2020; Mouritsen og Styrbæk, 2021). En plantebaseret kost uden særlige behandlinger som fermentering mangler nemlig især umami og kokumi, og kan have bitre smage. Kokumi er et forholdsvis nyt smagsindtryk, som der også bliver forsket meget i lige nu, bl.a. på KU FOOD.

## Umami og kokumi

Umami induceres primært af fri glutamat (mono-natriumglutamat, MSG), som er et salt af glutaminsyre, der findes i de fleste proteiner. Det har dog ingen smag, så længe det er bundet i proteiner. Fri glutamat findes naturligt i store mængder i fx fisk, skaldyr, modne tomater samt visse tangarter. Ved fermentering af proteinrige råvarer, både plantebaserede og animalske, kan der frigøres store mængder af fri glutamat som fx i miso, sojasauce, lagrede faste oste, blåskimmeloste, fiskesauce etc. (Mouritsen og Styrbæk, 2017). Mere utraditionelle fermenterede saucer med stort umamipotential kan fremstilles af insekter, vildtkød og af de fleste bælgfrugter (Mouritsen et al., 2017). Vigtige naturlige, let forarbejdede tilsætningsstoffer med umami er hydrolyseret gær, hydrolyseret protein, bærme og gærflager (inaktivt gær). Umamismagen forstærkes synergistisk af frie nukleotider som inosinat, guanylat og adenylat. Inosinat, som er et nedbrydningsprodukt af ATP<sup>1</sup>, forekommer naturligt i muskler fra landdyr, fisk og bløddyr; guanylat findes typisk i tørrede svampe; og adenylat typisk i modne tomater, men også i bløddyr som muslinger. Små mængder af disse fødevarer kan derfor bruges om smagsgivere i andre fødevarer. Synergien i umamismagen betyder, at blot en lille mængde af frie nukleotider kan forstærke effekten af glutamat og dermed bringe små mængder i et produkt over smagstærsklen.

Kokumi er et begreb ikke helt uafhængigt af umami og mundfølelse, og er afledt af det japanske udtryk for en smagsattribut, ”koku”. ”Koku” beskrives ved en følelse af fortætning, et rigt, komplekst og harmonisk samspil af alle smagsindtryk og en smageffekt, der klinger langsomt af (Nishimura og Kuroda, 2019). Kokumi fremkaldes af visse di- og tripeptider (Nishimura og Kuroda, 2019, Li et al., 2020c). Sådanne dipeptider findes i gouda- og parmesanost, sojabønner og gærekstrakt, og tripeptider findes i kammuslinger, fiskesauce, hvidløg, løg, fiskesauce, sojasauce, kød, rejepasta, visse svampe samt øl og vin, men dog i meget forskellig koncentration. Hvidløg spiller en helt særlig rolle for kokumi, fordi det indeholder et af de tripeptider, som giver stor mundfylde og forstærket velsmag. De peptider, der fremkalder kokumi, har ingen smag i sig selv, men kan undertrykke bitterhed og forstærke smagen af salt, sødt og umami. Selv uhyre små mængder (2-20 ppm) kan meget effektivt fremkalde kokumi. Disse kokumistoffers betydning er især blevet undersøgt i forbindelse med søde retter og suppefonder af kød og grøntsager med henblik på at give velsmag med mindre sukker og

---

<sup>1</sup> Adenosintrifosfat, et energirigt molekyle i organismer

mindre fedtstof. Det er fx vist, at hydrolysater af kød og hæmoglobin, som efterfølgende er behandlet med enzymet GGT<sup>2</sup> som danner gamma-glutamylpeptider, øger både umami-smagen og kokumieffekten, når de tilsættes (1%) til kyllingebouillon (Li et al., 2020b). Kokumi-aktive peptider har derfor potentiale til delvist at erstatte salt eller sukker, og dermed give sundere fødevarer. En del af disse peptider har også gavnlig bioaktivitet (Li et al., 2020c; se afsnit 3.5).

## **Mikrobielle kulturer**

Det anslås at op imod 1/3 af vores fødevarer globalt set er fermenterede, lige fra øl, vin, kaffe og chokolade til brød, yogurt, ost, salami, kimchee og sojasovs. Inden for mange af disse segmenter arbejdes der kontinuerligt på at optimere og/eller differentiere smagsudtrykket bl.a. ved hjælp af fermenteringskulturerne eller ved fx. at anvende specielle gær-typer til at fremstille lav-alkohol øl med smagsfylde. På KU FOOD er mikrobiologien derfor ofte koblet med avancerede kemiske ”footprint” analyser og databehandling for at afdække sammenhængen mellem mikrobiotaens sammensætning og udvikling og de enkelte smagskomponenter (Liu et al., 2015; Peng et al., 2018; Papalexandratou et al., 2019; Zhang et al., 2021).

Brug af mikroorganismer til at fremme eller ændre smagen af plantebaserede råvarer har i årevis været et vigtigt forskningsområde for KU FOOD. I en del år primært med fokus på fødevarer af Vestafrikansk oprindelse (såkaldte ”alkaline fermented foods”), men gennem den sidste håndfuld år også i en dansk/europæisk kontekst. Til januar 2022 starter KU FOOD projektet ”PROFERMENT: Solid-state fermentations for protein transformations and palatability of plant-based foods” op. PROFERMENT er et ambitiøst 6-årigt projekt finansieret af Novo Nordisk Fonden, der skal give grundlæggende viden om hvordan bakterier og skimmelsvampe kan bruges til at fremstille sunde og velsmagende fødevarer med udgangspunkt i havre og gule ærter.

---

<sup>2</sup> Gamma glutamyl transferase

### 3.3. Struktur og viskositet

En lang række forskellige tilsætningsstoffer kan anvendes til at forbedre en fødevarers struktur og dermed konsistens:

- ”Konsistensmidler”, ”Fortykningsmidler” og ”Geleringsmidler” gør eller holder frugt og grøntsager faste og sprøde, eller danner eller styrker en gel (gelé), dvs. giver en fødevarer konsistens og struktur.
- ”Emulgatorer” danner eller opretholder en homogen blanding af to eller flere ikke-blandbare faser, som fx olie og vand i en fødevarer. Tilsvarende vil ”skumdannende midler” kunne give en homogen fordeling af en luftart i en flydende eller fast fødevarer.
- ”Stabilisatorer” er stoffer, der kan bruges til at opretholde en fødevarers fysisk-kemiske tilstand, det kan fx være at opretholde en homogen fordeling af to eller flere ikke-blandbare stoffer i en fødevarer, eller som stabiliserer, bevarer eller forstærker en fødevarers farve, eller stoffer, som øger fødevarers bindeevne, herunder dannelse af tværbindinger mellem proteiner og binder fødevarerstykker sammen i rekonstituerede fødevarer.
- ”Smeltesalte” bruges til at dispergere proteiner i ost, så der dannes en homogen fordeling af fedt og andre bestanddele.
- ”Antiklumpningsmidler” reducerer de individuelle partiklers tendens til at klæbe sammen i en fødevarer.
- ”Modificerede stivelseser” bruges til at påvirke fødevarers konsistens, fx ved at stabilisere eller fortykke dem. De udvindes primært fra kartofler, hvede, majs og ris, så de kan betegnes som naturlige tilsætningsstoffer.
- ”Hævemidler” er stoffer eller kombinationer af stoffer, som udvikler gas og dermed får en dej til at svulme op.
- ”Melbehandlingsmidler” er andre stoffer end emulgatorer, som tilsættes til mel eller dej for at forbedre bageegenskaberne. Her anvendes fx den naturlige aminosyre cystein som udvindes fra dyr.

Mange fortykningsmidler og stabilisatorer er naturlige tilsætningsstoffer idet de udvindes af tang, alger eller planter, fx alginater, carageenan, guar gum, pektin og sorbitol.

Enzymet invertase, udvundet af almindeligt gær, bruges som blødgører fx i marcipan, så sukkeret ikke udkrystalliserer.

Andre naturlige tilsætninger, som der forskes i, er bl.a. bakteriekulturer, fx EPS-producerende bakteriestammer til at give bedre mundfylde i yoghurt, og enzymer, fx protein-nedbrydende eller stivelsesnedbrydende, som påvirker viskositeten. Som nævnt under punkt 3.1 bruges enzymer ( $\alpha$ -amylaser) også til at give bedre bageegenskaber af brøddej og i sidste ende et større brød med en mere homogen krummestruktur. Transglutaminase er et andet enzym, som kan lave krydsbindinger mellem proteiner, og dermed forøge viskositeten og bruges til at restrukturere kødstykker til en sammenhængende bøf. Endvidere kan fx ostepulver og peptider/hydrolysater tilsættes for at forbedre strukturen i fødevarer.

Der forskes også i andre metoder til at give fødevarer en speciel struktur, fx dannelse af oleogeler og emulsioner stabiliseret med naturlige proteiner eller partikler.

### **Mikrobielle kulturer**

Ved fermentering ses ofte en påvirkning af fødevarens struktur og viskositet. Særligt mejeristarterkulturers evne til at danne extracellulære polysaccharider med forskellige funktionelle karakteristika har været genstand for interesse (fx Khan et al., 2018), men i forbindelse med plantebaserede fermenteringer produceres en lang række enzymer, der kan medvirke til at ændre teksturen og ofte også gøre næringsstoffer mere tilgængelige (Mohd Noor et al., 2017). Med det øgede fokus på planter som råvarer vil der være stigende interesse for samspillet mellem mikrobiotaen, enzymproduktion, råvarebestanddele og strukturændringer af sensorisk og ernæringsmæssig betydning. Teksturændringer og nedbrydning af ufordøjelige fibre v.hj.a. af organismer som *Bacillus* spp. og skimmelsvampe er områder, der indgår i flere nye aktiviteter på KU FOOD.

### **Ostepulver**

Ostepulver fremstilles på basis af forskellige typer af oste ved at hakke, blande og smelte disse til en emulsion som efterfølgende spraytørres. Ofte anvendes smeltesalte som tilsætningsstof i forbindelse med produktionen, men det er muligt at producere ostepulver uden disse og derved opnå en naturlig fødevaringrediens. Ostepulver kan tilsættes i en lang række fødevarer, primært for at opnå en ønsket ostesmag, men en række forskningsstudier på bl.a. KU FOOD har de seneste år vist at ostepulver foruden smag også bidrager med en række funktionelle egenskaber i de produkter hvor de tilsættes. Der er fx tale om smagsforstærkning og/eller erstatning af tilsat salt, samt påvirkning af tekturen af



fermenterede pølser (Araya-Morice et al., 2021), anvendelse som emulgator (da Silva et al., 2020), som erstatning for æggeblomme i mayonnaise (da Silva et al., 2021), eller til forbedring af teksturen af glutenfrie kiks. De funktionelle egenskaber afhænger både af hvilke oste, der er anvendt til produktionen af et givet ostepulver, anvendelsen af smeltesalte og spraytørringsteknologien. Det er endnu ikke fuldt belyst, hvor disse egenskaber stammer fra, men det formodes at være en kombination af effekter relateret til den komplekse blanding af intakt og delvist nedbrudt protein og fedt fra de anvendte oste.

## **Peptider**

Peptider er som regel meget opløselige og binder vand, og kan dermed øge viskositeten af fødevarer. Hvis de ovenikøbet bliver krydsbundet (fx af enzymer som transglutaminase, proteaser eller laccase), kan viskositeten blive endnu bedre, og sådanne krydsbundne peptider kan også forbedre stabiliteten af emulsioner og skum. Sådanne effekter kan også opnås af større peptider, som har både hydrofobe og hydrofile egenskaber. På KU FOOD forsker vi bl.a. i at forbedre strukturen af fødevarer og ingredienser ved hjælp af proteaser og transglutaminase (fx Li et al., 2020a).

## **Oleogeler**

Oleogeler er analoger til almindelige vandbaserede geler og adskiller sig ved at små mængder af et geleringsmiddel gelerer et organisk solvent eller en vegetabilsk olie i stedet for at gelere en vandig fase. Oleogeler af umættede vegetabiliske olier er interessante som erstatning for fast fedt bestående af mættet eller delvist mættet fedt. Hermed kan produkter blive mere ernæringsrigtige og mere lokale plantebaserede fedtkilder kan benyttes, samtidig med at funktionaliteten af det nu faste fedt kan benyttes i produkter som kager og pølser. Oleogeler og oleo-geldannere er et hot videnskabeligt emne, og antallet af geldannere udvides hele tiden og tæller pt. komponenter såsom polære lipider/steroler, plantevoksstoffer, polymere (fx ethyl-cellulose), og i mindre grad proteiner.

KU FOOD har haft særligt fokus på funktionaliteten af olie i vand emulsioner, hvor mættet fedt er erstattet af oleogeler. Sådanne systemer er interessante, fordi bulk fedt sjældent er interessant for forbrugeren, og fordi fedt derfor ofte optræder (skjult) som den dispergerede fase i fødevarer. Konkret har aktiviteterne på KU FOOD været rettet mod at fremstille ”flødeis” baseret på oleogeler (Munk et al., 2018). Der har på KU FOOD været fokus på om olien stadig bevarer sin fasthed i sådanne emulsionssystemer, eftersom kontakten med vand kan give anledning til migration af oleo-geldannere

til vandfasen eller til olie-vand grænsefladen og dermed tab af geleringssevne i realistiske fødevarerprodukter, som indeholder vand. For ethyl-cellulose er det bl.a. vist, at geleringssevnen tabes eller bevares afhængigt af fremstillingsmetoden for emulsionerne (Munk et al., 2019).

De anvendte oleo-geldannere er ofte stoffer såsom voksstoffer og kemisk modificerede komponenter, fx ethyl-cellulose. Samtidig ved vi, at proteiner ofte vurderes positivt af forbrugeren. Derfor er der fokus på oleogelering baseret på proteiner, hvilket som udgangspunkt er svært fordi proteiner ofte er vandopløselige, uopløselige eller grænsefladeaktive, og dermed kræves helt særlige fremstillingsprocedurer. KU FOOD har igangværende fokus på brug af zeiner og en metode til at gelere olie ved brug af sådanne mere hydrofobe proteiner.

### **Emulsioner og skum stabiliseret af partikler (Pickering systems)**

Skum og emulsioner er ofte stabiliseret af små emulgator-molekyler eller små opløselige proteiner, der kan sænke grænse- eller overfladespændingen. De akkumuleres dermed på overflader og grænseflader og giver elektrostatiske eller steriske stabilisering. I de sidste 10 år har der været forskningsmæssigt fokus på stabilisering af skum og emulsioner med små faste partikler i nano- til mikroskala, og fænomenet kaldes Pickering-stabilisering efter opfinderen. Afhængigt af Pickering-partiklernes overfladeegenskaber, i form af kontaktvinkler, vil partiklerne bindes irreversibelt til overflader og grænseflader og give en meget effektiv sterisk stabilisering af skum og emulsioner. Dette kendes bl.a. fra den stabilisering som partikler fra sennep kan give olie i vand emulsioner, som fx salatdressing. Pickering-mekanismen er også i spil, når man pisker fløde til flødeskum hvor et netværk af faste fedtpartikler forankres i overfladen af luftbobler. Generelt går mange forskningsaktiviteter ud på at finde kilder til egnede Pickering-partikler (fx overflademodificerede stivelseskorn og partikler fra kaffegrums).

KU FOODs fokus har været på om mælkesyrebakterier kan virke som Pickering-partikler og om sådanne celler kan være byggestenen, der kan strukturere mad og give funktionalitet. Ideen er, at mælkesyrebakterier kan fermentere ud fra kulstof- og nitrogenkilder af lav lødighed, dvs. der er uegnede til menneskeføde i sig selv. Mælkesyrebakterier er på størrelse med fedtkugler i mange fødevarerprodukter og måske kunne bakterier funktionaliseres til at være mere energifattige erstatninger for fedtkugler. Aktiviteter på KU FOOD har vist, at mælkesyrebakterier kan gøres overfladeaktive ved fysisk eller kemisk modifikation og derefter stabilisere skum og enkelt- eller dobbelt-emulsioner (Falco et al., 2017; Jiang et al., 2018 og 2021). Der er foretaget screeninger af, hvordan overfladeegenskaberne afhænger af mælkesyrebakterieart og fermenteringsparametre.

### **3.4. Farveoptimering**

Farvestoffer bruges til at give en fødevare farve eller dens farve tilbage, og omfatter naturlige bestanddele af fødevarer og andre naturlige kildematerialer som normalt ikke i sig selv fortæres som fødevarer, og som normalt ikke anvendes som karakteristiske ingredienser i fødevarer. Farvestoffer kan også være præparater, der er fremstillet af fødevarer og andre spiselige naturlige kildematerialer ved en fysisk og/eller kemisk ekstraktion, som fører til en selektiv ekstraktion af pigmenter i forhold til de ernæringsmæssige eller aromatiske bestanddele (Vejledning 9346/2017).

Der findes altså mange naturlige farvestoffer til fødevarerindustrien, fx de gule-røde curcumin (gurkemejefarve) og carminer udvundet af hhv. gurkemejerod og skjoldlus fra kaktusplanter samt paprikaekstrakt fra røde peberfrugter og rødbedefarve udvundet af rødbeder. Også chlorofyl (grønt farvestof) er naturligt, idet det udvindes fra grønne blade. Nogle af de naturlige farvestoffer fremstilles nu også syntetisk eller ved brug af mikroorganismer.

Men der bruges også nogle syntetiske farvestoffer, som kan fremkalde allergi eller lignende symptomer, fx quinolingult, og azo-farverne tartrazin, sunset yellow, azorubin, ponceau og allura red, som derfor er underlagt specielle regler for (Vejledning 9346/2017).

Til trods for at langt de fleste syntetiske farvestoffer til brug i fødevarer efterhånden er erstattet med naturlige fødevarerfarvestoffer, så er der stadig et betydeligt behov for forskning og udvikling. Nye trends går især i retning af at finde nye naturlige kilder til at erstatte sådanne farvestoffer, samt at udvinde og behandle farvestofferne, så de opnår større stabilitet. Der er også en trend henimod at anvende mikroorganismer til fermentering, som bidrager med at udvikle eller stabilisere produktets farve.

#### **Naturlige farvestoffer og nye trends**

Generelt er naturlige farvestoffer ikke så stabile som syntetiske, hvilket giver udfordringer under fremstilling og opbevaring af fødevarer. Til gengæld har mange naturlige farvestoffer potentielle gavnlige helseeffekter, som fx curcumin, polyphenoler og carotener.

Ønsket om ”clean label” og dermed at undgå angivelse af tilsætningsstoffer på ingredienslisten, har ført til øget fokus på brug af stærkt farvende fødevarer som farvegivere, og som derfor kan angives

som ingrediens. Dette kan f. eks være rødbede eller spinat i pasta, eller opkoncentrerede farvede bær og frugtsafter, som dermed får en høj farvestyrke. Hvis de naturlige farvestoffer derimod selektivt ekstraheres eller isoleres, betragtes de som farvestoffer og dermed som tilsætningsstoffer.

Der findes endnu ikke tilgængelige naturlige blå farvestoffer til fødevarer med samme farvestyrke og stabilitet som syntetiske. Vandopløselige anthocyaniner, der findes som blå pigment i en del planter, er kun blå mellem pH 6 og 7 og er generelt ustabil ved tilstedeværelse af oxygen og under forarbejdning. Anvendelsen af phycocyanin, som er et blå protein-kompleks udvundet af spirulina alger, er begrænset af manglende varmestabilitet, lav farveintensitet og pH-følsomhed. Det er til en vis grad også muligt at opnå blå farve i fødevarer ved at anvende farvede fødevarer såsom blå majsmel, blåbær, rødkål, og forskellige blomster, herunder *Clitoria ternatea* (blue pea, butterfly pea), som dog ikke er ”novel food” godkendt.

EFSA<sup>3</sup> har i foråret 2021 vurderet, at titandioxid (E171), som har været et meget anvendt hvidt farvestof i fødevarer, ikke er sikkert til levnedsmiddelbrug. Det har medført et aktuelt behov for alternativer, men indtil videre er der ikke fødevarer-godkendte hvide farvestoffer, der har samme farvestyrke, exceptionelle stabilitet overfor varme og syre, samt meget brede anvendelsesmuligheder. Risstivelse er ikke varmestabil og binder betydelige mængder vand. Calciumcarbonat har ikke samme farvestyrke, og skal derfor anvendes i forholdsvis store mængder, hvilket kan påvirke tekstur og andre egenskaber.

Der har desuden været fokus på at udvikle og udnytte forskellige formuleringsteknologier til at tilpasse de naturlige farvestoffers egenskaber. Fx kan de fedtopløselige carotener gøres vandopløselige ved indkapsling i nano-partikler (Schjørring-Thyssen et al., 2019).

### **Farveoptimering ved hjælp af mikroorganismer**

Mikroorganismer kan i sig selv have pigmenter, som det fx kendes fra ”red rice”, men herudover kan mikrobielle kulturer via deres nitrat-reduktase-aktivitet medvirke til dannelse af f.eks. nitrosylmyoglobin, i kødprodukter. Dette er af særlig betydning i de tilfælde, hvor der ikke er tilsat nitrit, men i stedet nitrat (Gøtterup et al., 2008). Da sidstnævnte findes naturligt i meget plantemateriale, er det muligvis et område, der kunne optimeres i blandingsprodukter.

---

<sup>3</sup> Den Europæiske Fødevarsikkerhedsautoritet

### **3.5 Sundhedsfremme**

For at øge næringsværdien af enkelte fødevarer eller den samlede kost, kan udvalgte fødevarer også beriges med næringsstoffer som vitaminer og mineraler eller andre stoffer, med ernæringsmæssig eller fysiologisk virkning.

Fødevarer kan fx beriges med protein eller polyumættede fedtsyrer, eller med specifikke vitaminer (fx B12) eller mineraler (fx calcium), som nogle befolkningsgrupper er i fare for at få for lidt af.

Men også andre naturlige tilsætninger, fx bakteriekulturer med probiotika, som har en gavnlig virkning i tarmen, eller ufordøjelige kulhydrater som fremmer væksten af de gavnlige bakterier i tarmen (prebiotika) kan påvirke sygdomsforløb og give et bedre velbefindende. Det samme gælder for andre mikrobielle kulturer eller medier herfra, fx i forbindelse med en sundere tarmflora.

Endelig kan bioaktive peptider også tilsættes til fødevarer for at give dem en ekstra sundhedsgevinst, som fx bedre modstand mod forskellige metaboliske sygdomme.

Proteiner fra planter, mikroalger og svampe, som kan anvendes som ingredienser og måske tilsætningsstoffer, er nævnt i den tidligere rapport om planteproteiner (KU FOOD et al., 2020).

#### **Langkædede omega-3 fedtsyrer**

Et generelt øget indtag af de langkædede fedtsyrer eicosapentaensyre (EPA) og docosahexaensyre (DHA), der stammer fra fisk og skaldyr, er forbundet med flere gavnlige helbredsmæssige effekter, bl.a. i forbindelse med hjerte-kar sygdomme, leddegigt og udvikling af neurokognitive funktioner.

Udover anbefalinger om en højere andel af fisk i kosten, så har der også været en bred interesse i måder at øge indtaget af EPA og DHA. Dette spænder fra indtag af højkoncentrerede ethylestre af DHA og EPA i farmaceutiske præparater, over fiskeolier som kosttilskud til inkorporering af et forøget indhold af fiskeolier i konventionelle fødevarer. EPA og DHA er meget oxidationsfølsomme flerumættede fedtsyrer, hvilket giver store udfordringer i forhold til deres håndtering, forarbejdning og opbevaring. Ved autoxidation danner DHA og EPA hurtigt en uønsket harsk aroma, som har negativ indflydelse på et fiskeolieberiget produkts sensoriske kvalitet. Ved at indkapsle fiskeolie i en fast matrice kan man begrænse eksponeringen mod oxygen og dermed hæmme følsomheden over for oxygen. Indkapsling af olie kan ske ved spraytørring af emulsioner, hvorved der dannes pulvere med

mikroindkapslede oliedråber, som nemt vil kunne håndteres under normale fødevarerproduktionsbetingelser. Ny forskning, bl.a. på KU FOOD, har undersøgt alternative indkapslingsteknikker der kan foretages ved lavere, mere skånsomme temperaturer end under spraytørring, deriblandt brugen af solide lipid-nanopartikler og elektrohydrodynamiske processer såsom elektrospinning og elektrospaying (García-Moreno et al., 2021).

I flydende fødevarer vil inkorporering oftest medføre at fiskeolien er suspenderet som en olie-i-vand emulsion. Da autoxidation i emulsioner ofte initieres i vandfasen og ved hjælp af radikaler udbredes til oliefasen, har der været fokus på at forstå, hvordan sammensætningen og strukturen af olie-vand grænsefladen påvirker oxidationshastigheden, med henblik på at designe antioxidanter med overfladeaktive egenskaber, som optimalt vil kunne udvise deres effekt ved at være placeret i grænselaget. I tillæg til den kemiske (oxidative) stabilitet er den fysiske stabilitet yderligere en udfordring ved flydende emulsioner, hvorved interaktioner med øvrige tilsætningsstoffer, såsom emulgatorer og stabilisatorer, er afgørende for at opnå produkter med god holdbarhed. Da fremstillingen af indkapslede fiskeolier altid kræver en forudgående fremstilling af en emulsion, vil indkorporering af fiskeolier i fødevarer generelt kun kunne lade sig gøre ved samtidig brug af en række andre tilsætningsstoffer såsom emulgatorer, stabilisatorer, antioxidanter, antyklumpningsmidler og antioxidanter.

## **Calcium**

Der er et stigende behov for øget indtag af calcium for mange befolkningsgrupper. Normalt anbefales indtag af omkring 1 gram calcium om dagen afhængigt af køn og alder, hvilket svarer til en liter mælk. Mange har imidlertid en dårlig optagelse af calcium fra kosten og har brug for kosttilskud.

Et restprodukt fra ostefremstilling er valle, der indeholder valleprotein og mælkesukker alt efter ostetype. Når valleproteinerne og laktose er udvundet, er der stadig meget calcium tilbage. Ved inddampning fremstilles et tørt mineralprodukt, der især indeholder hydroxyapatit, et mineral med fosfat og calcium i et ernæringsmæssigt optimalt forhold. Dette tørrede vallem mineralprodukt er dog tungtopløseligt, men forsøg på KU FOOD har vist, at calcium kan gøres biotilgængeligt ved kombination med saft fra frugt, der indeholder citronsyre (Garcia et al., 2019). Vallem mineralproduktet kan derfor betegnes som et naturligt tilsætningsstof med en grøn profil, da et restprodukt, der tidligere var problematisk affald, bliver nyttiggjort i fødevarerfremstilling.

## **Probiotika og andre mikrobielle kulturer og medier**

Gennem de sidste 15 år, er det blevet klart, at mikroorganismene i vores tarmsystem (tarmmikrobiomet) har stor betydning for sundhed og sygdom. Hvis der er ubalance i dette system, så øger det markant risikoen for at udvikle f.eks. overvægt, diabetes og visse former for kræft. Sammensætningen af vores kost er den faktor, der har størst indflydelse på vores tarmmikrobioms sammensætning og funktion (Nielsen et al., 2018; Castro-Mejía et al., 2020), men der er også mulighed for at påvirke det på andre måder. For eksempel vha. probiotiske bakterier (f.eks. visse bifidobakterier og mælkesyrebakterier) eller prebiotika som fremmer væksten af de gavnlige bakterier i tarmen og positivt påvirker vores velbefindende (Grimaldi et al., 2018; Hansen et al., 2019; Jacobsen et al., 2020 og 2021). KU FOOD har været involveret i en række projekter, der undersøger brugen af probiotika i mange sammenhænge fra underernærede børn i Afrika over for tidligt fødte børn i Danmark til ældre københavnere (Castro-Mejía et al., 2020b; Hui et al., 2021). KU FOOD har udviklet sig til en vigtig spiller inden for dette forskningsområde over de sidste 10 år og har bl.a. været blandt pionererne af såkaldte ”next generation probiotics”, der synes at have større potentiale end de allerede eksisterende probiotika. De fleste probiotiske produkter på markedet består af mælkesyrebakterier og/eller bifidobakterier, som ikke nødvendigvis udgør de vigtigste bakterier i tarmmikrobiomet hos ældre børn og voksne. ”Next generation probiotics” består typisk af tarmbakterier, der generelt er blevet associeret med sundhedsmæssigt positive effekter, såsom *Akkermansia* og *Faecalibacterium*. En udfordring er dog, at disse ”next generation probiotics” oftest ikke tåler den mindste smule ilt. KU FOOD har her bl.a. udviklet metoder til at indkapsle disse bakterier i konventionelle fødevarer som bl.a. chokolade med godt resultat (Marcial-Coba et al., 2019a,b). KU FOOD har ligeledes været blandt pionererne omkring brugen af såkaldt ”fecal virome transplant” til at beskytte mod skadevirkningerne af en høj-fedt-kost såvel som for tidlig fødsel (Rasmussen et al., 2020a,b; Brunse et al., 2021).

## **Bioaktive peptider**

Bioaktive peptider er fragmenter af proteiner fra fødevarer eller restprodukter heraf, som udover deres næringsværdi, har en gavnlig effekt på kropsfunktioner eller tilstande og dermed har en positiv indflydelse på vores helbred, velbefindende og ydeevne. For eksempel kan specifikke peptider

(ACE<sup>4</sup>-hæmmere og antioxidanter) normalisere blodtrykket hos dyr og mennesker med let forhøjet blodtryk. Men også kolesterol-sænkende, anti-diabetiske, anti-obese og anti-cancer effekter kan opnås med bioaktive peptider (Fu et al., 2016; Mada et al., 2020). For at være aktive skal peptiderne frigøres fra deres oprindelige protein. Dette kan ske ved tilsætning af enzymer (i batch eller kontinuerte reaktioner), under fordøjelsen, eller under forarbejdning af proteinholdige fødevarer eller dele heraf, fx under opvarmning eller fermentering. For eksempel dannes der mange bioaktive peptider i yoghurt, som fremstilles ved fermentering med proteolytiske mælkesyrebakterier (Otte et al., 2011). Fermentering har den fordel, at de bioaktive peptider dannes direkte i fødevareren og derfor ikke skal produceres separat, opbevares og inkorporeres i fødevareren først.

Bioaktive peptider og protein-hydrolysater bruges ikke til at erstatte andre tilsætningsstoffer eller tilsætninger, men som ekstra tilsætning for at øge sundhedsværdien af fødevareren yderligere.

I tillæg til sundhedsværdien er der også en klimamæssig fordel i, at bioaktive peptider kan dannes ud fra spildprodukter, sidestrømme etc., altså i at udnytte proteiner i ikke-spiselige fraktioner til at fremstille bioaktive peptider, og dermed udnytte råvarerne bedre; dette er et stort fokusområde på KU FOOD (fx Damgaard et al., 2015; Yi et al., 2017; Thuanthong et al., 2017; Fu et al., 2019). Selve fremstillingsmetoderne ved brug af fermentering eller tilsætning af enzymer har også vist sig i mange tilfælde at give anledning til en mindre CO<sub>2</sub>-udledning end tilsvarende kemiske og termiske processer. Herudover betragtes peptider som et naturligt tilsætningsstof ("clean label"), der generelt er sikkert at bruge - og hvis peptider tilsættes i større mængder bidrager de med let fordøjeligt protein. Udfordringerne er bl.a. pris ift. anvendt teknologi, udbytte, smag, ustabilitet under forarbejdning og fordøjelse, samt at udføre gode kliniske studier, som viser de berigede fødevarers sundhedsfordel, og at bevise hvordan de virker i kroppen og dermed opnå retten til sundhedsanprisninger. Egnede teknologier skal bruges i forbindelse med at producere hydrolysater med bioaktive peptider, opkoncentrere de aktive peptider, og tørre dem til et pulver og opbevare dem uden at for meget aktivitet tabes. Fra laboratorieforsøg ved man meget om hvilke substrat- og enzym-kombinationer, der giver bioaktive peptider med forskellige egenskaber, disse er bl.a. samlet i databaser (fx BIOPEP, MBPDB, PeptideDB; Nielsen et al., 2017; Panyayai et al., 2019). Teknologier til at hydrolysere proteinholdige fraktioner i større skala er tilgængelige, og der findes flere pilot-skala-teknikker til opkoncentrering og tørring af de aktive peptider. For nogle få fødevarer er det undersøgt hvordan

---

<sup>4</sup> "Angiotensin I-converting enzyme", et vigtigt enzym i blodtryksregulering



bioaktive peptider bedst inkorporeres, og der forskes i forskellige metoder til at forbedre smagen af peptider (fx Fu et al., 2020). Angående stabiliteten af de aktive peptider under opbevaring, bearbejdning og indtagelse, kan denne øges ved at peptiderne inden tilsætning indkapsles, fx under tørring eller ekstrudering, eller ved indkapsling i liposomer, emulsioner eller solide nanopartikler. (Chai et al., 2020). Men der mangler mere viden om hvordan peptiderne bedst inkorporeres i forskellige fødevarer, hvordan de interagerer med fødevarematricen, og hvordan de påvirker smagen og andre funktionelle egenskaber, og hvordan procesbetingelserne optimeres til at bevare mest bioaktivitet.

Den største udfordring er nok, at der hidtil ikke er fundet tilstrækkelig evidens for aktivitet og mekanisme til at bioaktive peptider er blevet godkendt til sundhedsanprisninger i EU (Chamalaiah et al., 2019; [https://ec.europa.eu/food/safety/labelling\\_nutrition/claims/register/public/?event=search](https://ec.europa.eu/food/safety/labelling_nutrition/claims/register/public/?event=search)), hvilket forhindrer, at man kan reklamere med sundhedseffekterne og opnå merværdi for de berigede fødevarer.

### 3.6 Øvrige funktioner

Ifølge Bilag 1 i EU Forordningen om tilsætningsstoffer (EF 1333/2008) er der også flg. tilsætningsstoffer, som ikke er blevet kategoriseret under de forrige egenskaber:

- ”Skumdæmpningsmidler” forhindrer eller reducerer skumning.
- ”Bærestoffer” kan anvendes til at opløse, fortynde, dispergere et tilsætningsstof eller en aroma, et fødevarefødevareenzym eller et næringsstof (dvs. et tilsætningsstof til tilsætningsstof)
- ”Fyldemidler” øger en fødevares volumen uden at øge dens energiindhold væsentligt.
- ”Kontrastforstærkere” er stoffer som anvendes til at tydeliggøre behandlede/depigmenterede frugters og grøntsagers overflade og give farve som følge af interaktion med visse komponenter i epidermis.
- ”Overfladebehandlingsmidler” giver en fødevarer et skinnende udseende eller udgør et beskyttende lag, når det påføres på overfladen.
- ”Fugtighedsbevarende midler” beskytter fødevaren mod udtørring eller gør opløsning af et pulver i vandigt medium lettere.

- ”Emballagegasser” er andre gasser end luft, der indføres i en beholder før, mens, eller efter fødevaren anbringes deri. ”Drivgasser” er andre gasarter end luft der bruges til at presse en fødevare ud af en beholder.

Disse spænder over mange forskellige typer af stoffer og egenskaber og er altså et bredt område, hvor det potentielt også skulle være muligt at bruge naturlige tilsætningsstoffer for at opnå nogle af disse egenskaber.

## 4. Konklusion

Tilsætningsstoffer og ingredienser er nødvendige for at producere mere bæredygtige fødevarer og sikre forsyning med sunde og sikre fødevarer samt mindske madspild. Men det er en betydelig udfordring, at forarbejdede fødevarer, som ofte er baserede på brugen af tilsætningsstoffer, betragtes med skepsis af mange forbrugere. Forbrugernes holdninger har stor indflydelse på brugen af tilsætningsstoffer i fødevarer, og deres præference for naturlige fødevarer uden tilsætningsstoffer er både en stor udfordring og motivation for udvikling af nye fødevarer og tilsætninger med naturlig oprindelse.

Den megatrend, der er i øjeblikket mod nye fødevarer, især plantebaserede fødevarer, vil føre til udvikling af nye forarbejdede fødevarer (blandt andet 3D-printede), hvilket vil forstærke behovet for naturlige tilsætningsstoffer. Der er derfor et kæmpepotentiale for anvendelsen af naturlige tilsætningsstoffer, og gerne tilsætninger, som ikke skal deklareres. For at imødekomme mange forbrugeres ønsker om naturlige fødevarer forskes der intenst i nye og naturlige ingredienser og tilsætninger som kan erstatte tilsætningsstoffer med E-numre eller give ekstra benefit i form af sundhedsmæssige fordele, eller andre måder (f.eks. fermentering) frembringer de egenskaber til fødevarer som tilsætningsstoffer ellers ville gøre.

På KU FOOD har vi allerede stor viden om naturlige tilsætningsstoffer, og vi forsker inden for mange forskellige typer af potentielle nye tilsætninger og ingredienser, som kan bidrage til en mere bæredygtig fødevarerproduktion og -forsyning. Nye tiltag sker blandt andet inden for naturlige mikrobielle kulturer til at opnå alt fra bedre holdbarhed over bedre smag, farve og struktur til sundere fødevarer, ikke mindst via næste generation af probiotika og tarm-microbiota. Andre områder, hvor

der forskes intenst, er naturlige antioxidanter til bedre holdbarhed, farve og sundhed samt interaktioner mellem disse i fødevarematricer, naturlige ingredienser og tilsætninger med umami-smag og kokumi-effekter, stabilisering af farvestoffer, næringsstoffer, peptider og mikroorganismer til/i fødevarer, fx ved indkapsling, samt dannelse af mere struktur og mundfylde i fødevarer med naturlige ingredienser.

## 5. Referencer

- Amigo, J.M., Alvarez, A.O., Engelsen, M.M., Lundkvist, H., Engelsen, S.B. (2016). Staling of white wheat bread crumb and effect of maltogenic alfa-amylases. Part 1: Spatial distribution and kinetic modeling of hardness and resilience. *Food Chemistry* 208: 318-325.
- Amigo, J.M., del Olmo, A., Engelsen, M.M., Lundkvist, H., Engelsen, S.B. (2019). Staling of white wheat bread crumb and effect of maltogenic alfa-amylases. Part 2: Monitoring the staling process by using near infrared spectroscopy and chemometrics. *Food Chemistry* 297: 124946.
- Amigo, J.M., del Olmo, A., Engelsen, M.M., Lundkvist, H., Engelsen, S.B. (2021). Staling of white wheat bread crumb and effect of maltogenic alfa-amylases. Part 3: Spatial evolution of bread staling with time by near infrared hyperspectral imaging. *Food Chemistry* 353: 129478.
- Andersen, S. S., & Holm, L. (2018). Naturalness as a safe haven: parental consumption practices and the management of risk. *Young Consumers*, 19(3), 296–309. <https://doi.org/10.1108/YC-12-2017-00763>.
- Aschemann-Witzel, J., Gantriis, R. F., Fraga, P., & Perez-Cueto, F. J. A. (2020). Plant-based food and protein trend from a business perspective: markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–10. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1793730>
- Araya-Morice, A., De Gobba, C., Lametsch, R., & Ruiz-Carrascal J. (2021). Effect of the addition of cheese powder and salt content on sensory profile, physicochemical properties and  $\gamma$ -glutamyl kokumi peptides content in dry fermented sausages. *European Food Research and Technology* 247, 2027–2037.
- Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Næs, T., & Varela, P. (2017). Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Research International*, 99(April), 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.022>
- Aunbjerg, S.D., Honoré, A.H., Marcussen, J., Ebrahimi, P., Vogensen, F.K., Benfeldt, C., Skov, T. & Knøchel, S. (2015a). Contribution of volatiles to the antifungal effect of *Lactobacillus paracasei* in defined medium and yogurt', *International Journal of Food Microbiology* 194, 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.007>
- Aunbjerg, S.D., Andersen, K.R. & Knøchel, S. (2015b). Real-time monitoring of fungal inhibition and morphological changes. *Journal of Microbiological Methods* 119, 196-202. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2015.10.024>

- Brunse, A., Deng, L., Pan, X., Hui, Y., Castro-Mejia, J., Kot, W., Nguyen, D.N., Secher, J., Nielsen, D.S. & Thymann, T. (2021). Fecal filtrate transplantation protects against necrotizing enterocolitis. *ISME J*, accepted for publication
- Castro-Mejía, J.L., Khakimov, B., Krych, Ł., Bülow, J.; Bechshøft, R.L., Højfeldt, G., Mertz, K.H., Garne, E.S., Schacht, S.R., Ahmad, H.F., Kot, W., Hansen, L.H., Perez-Cueto, F.J.A., Lind, M.V., Lassen, A.J., Tetens, I., Jensen, T., Reitelseder, S., Jespersen, A.P., Holm, L., Engelsen, S.B. & Nielsen, D.S. (2020a). Physical fitness in community dwelling older adults is linked to dietary intake, gut microbiota and metabolomic signatures. *Aging Cell* 22:e13105
- Castro-Mejía, J.L., O’Ferrall, S., Krych, Ł., O’Mahony, E., Namusoke, H., Lanyero, B., Kot, W., Nabukeera-Barungi, N., Michaelsen, K.F., Mølgaard, C., Friis, H., Grenov, B. & Nielsen, D.S. (2020b). Restitution of gut microbiota in Ugandan children administered with probiotics (*Lactobacillus rhamnosus* GG and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12) during treatment for severe acute malnutrition. *Gut Microbes* 11:855-864.
- Chamalaiah, M., S.K. Ulug, H. Hong, & J. Wu (2019). Regulatory requirements of bioactive peptides (protein hydrolysates) from food proteins. *Journal of Functional Foods* 58, 123-129.
- Chai, K.F., A.H.H. Voo & W.N. Chen (2020). Bioactive peptides from food fermentation: A comprehensive review of their sources, bioactivities, applications, and future development. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety* 19, 3825-3885.
- Coop Analyse. (2017). *To af fem undgår farvestoffer*. Coop Analyse. [https://coopanalyse.dk/analyse/02\\_169-tilsaetningsstoffer/](https://coopanalyse.dk/analyse/02_169-tilsaetningsstoffer/)
- Coop Analyse. (2018). *Én ud af tre forsøger at undgå tilsætningsstoffer*. Coop Analyse. [https://coopanalyse.dk/analyse/02\\_291-free-from/](https://coopanalyse.dk/analyse/02_291-free-from/)
- Damgaard, T., R. Lametsch & J. Otte (2015). Antioxidant capacity of hydrolysed animal by-products and relation to amino acid composition and peptide size distribution. *J. Food Science & Technology*, 52(19), 6511-6519.
- Da Silva, D.F., Vlachvei, K., Geng, X., Ahrné, L., Ipsen, R., Hougaard, A.B. (2020). Effect of cheese maturation on physical stability, flow properties and microstructure of oil-in-water emulsions stabilised with cheese powders. *International Dairy Journal*, 103, 104630.
- Da Silva, D.F., Bettera, L., Ipsen, R., & Hougaard, A.B. (2021). Cheese powders as emulsifier in mayonnaise. *LWT – Food Science and Technology* 151, 112188.
- DTU rapport 2016. Viden er den vigtigste ingrediens. Sådan kan forskning og uddannelse af kandidater understøtte den danske ingrediensindustri fortsatte succes på et globalt marked i stærk vækst. Sektorudviklingsrapport, Danmarks Tekniske Universitet, 2016.
- EF 1333/2008. EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS FORORDNING (EF) Nr. 1333/2008 af 16. december 2008 om fødevaretilsætningsstoffer.
- Fadda, C., Sanguinetti, A.M., Del Caro, A., Collar, C. & Piga, A (2014) Bread Staling: Updating the View. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 13(4), 473-492.
- Falco, C.Y., Geng, X.L., Cardenas, M. & Risbo, J (2017). Edible foam based on Pickering effect of probiotic bacteria and milk proteins. *Food Hydrocolloids* 70, 211-218. DOI10.1016/j.foodhyd.2017.04.003.
- Fu, Y., J. F. Young, M. K. Rasmussen, T. K. Dalsgaard, R. Lametsch, R.E. Aluko, & M. Therkildsen (2016). Angiotensin I-converting enzyme-inhibitory peptides from bovine collagen: insights into inhibitory mechanism and transepithelial transport. *Food Research International* 89, 373-381.
- Fu, Y., Therkildsen, M, Aluko, R.E. & Lametsch, R. (2019). Exploration of collagen recovered from animal by-products as a precursor of bioactive peptides: Successes and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59 (13), 2011-2027.

- Fu, Y., J. Liu, W. Zhang, S.S. Wæhrens, M. Tøstesen, E.T. Hansen, W.L.P. Bredie & R. Lametsch (2020). Exopeptidase treatment combined with Maillard reaction modification of protein hydrolysates derived from porcine muscle and plasma: structure-taste relationship. *Food Chemistry* 306: 125613.
- Fødevareguiden 2020. <https://foedevareguiden.dk/foedevare/hvad-indeholder-en-foedevare/tilsaetningsstoffer/>
- Fødevarestyrelsen, 2020a. <https://www.foedevarestyrelsen.dk/Leksikon/Sider/Tils%C3%A6ttningsstoffer-og-teknologi.aspx>
- Fødevarestyrelsen 2020b. <https://www.foedevarestyrelsen.dk/Leksikon/Sider/%C3%98vrige-tils%C3%A6ttningsstoffer.aspx>
- Garcia, A. C., M. Vavrusova, H. Cheng & L.H. Skibsted. Problemer med calciumsalte i valle kan løses. *Mælkeritidende* 2019 Nr. 1, s. 8-9.
- García-Moreno, P.J., C. Jacobsen, A.-D. M. Sørensen & B. Yesiltas (Eds.) (2021). Omega-3 Delivery Systems. Production, Physical Characterization and Oxidative Stability. Academic Press, London, UK.
- Gravesen, A., Ramnath, M., Rechinger, K.B., Andersen, N., Jänsch, L., Héchard, Y., Hastings, J.W. & Knöchel, S. (2002) High-level resistance to class IIa bacteriocins is associated with one general mechanism in *Listeria monocytogenes*. *Microbiology* 148, 2361-2368.
- Grimaldi, R., Gibson, G.R., Vulevic, J., Giallourou, N., Castro-Mejía, J.L., Hansen, L.H., Gibson, E.L., Nielsen, D.S. & Costabile, A. (2018). A prebiotic intervention study in children with Autism Spectrum Disorders (ASDs). *Microbiome*, 6:133
- Gøtterup, J., Olsen, K., Knöchel, S., Tjener, K., Stahnke, L.H. & Møller, J. K. S. (2018). Colour formation in fermented sausages by meat-associated staphylococci with different nitrite- and nitrate-reductase activities. *Meat Science*, 78, 4, 492-501.
- Hansen, B.M. 2020. Tilsætningsstoffer: Godt eller Skidt? <https://foedevareguiden.dk/tilsaetningsstoffer-godt-eller-skidt/>
- Hansen, C.H.F., Larsen, C.S., Outzen, H.N., Zachariassen, L.F., Vegge, A., Lauridsen, C., Kot, W., Krych, Ł., Nielsen, D.S. & Hansen, A.K. (2019). Targeting gut microbiota and barrier function with prebiotics to alleviate autoimmune manifestations in non-obese diabetic mice. *Diabetologia* 62, 1689-1700.
- Huang, C., Zhang, L., Johansen, P.G., Petersen, M.A., Arneborg, N. & Jespersen, L. (2021). *Debaryomyces hansenii* Strains Isolated From Danish Cheese Brines Act as Biocontrol Agents to Inhibit Germination and Growth of Contaminating Molds', *Frontiers in Microbiology* 12, 662785. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.662785>.
- Hui, Y., Smith, B., Mortensen, M.S., Krych, L., Sørensen, S.J., Greisen, G., Kroghfelt, K.A. & Nielsen, D.S. (2021). The effect of early probiotic exposure on the preterm infant gut microbiome development. *Gut Microbes* 13, 1951113.
- Jakobsen, L.M.A., Maldonado-Gómez, M.X., Sundekilde, U.K., Andersen, H.J., Nielsen, D.S. & Bertram, H.C. (2020). Metabolic effects of bovine milk oligosaccharides on selected commensals of the infant microbiome – commensalism and postbiotic effects. *Metabolites* 10, 167.
- Jacobsen, N.M.Y., Nedergaard, H.B., Kock, A., Caglayan, I., Laursen, M.M., Lange, E-M., Marcial-Coba, M.S., Bar-Shalom, D., Nielsen, D.S. & Müllertz, A. (2021). Development of gastro-resistant coated probiotic granulates and evaluation of viability and release during simulated upper gastrointestinal transit. *LWT – Food Science and Technology* 144, 11174.
- Jiang, X.Y., Falco, C.Y., Dalby, K.N., Siegmundt, H., Arneborg, N. & Risbo, J (2018). Surface engineered bacteria as Pickering stabilizers for foams and emulsions. *Food Hydrocolloids* 89, 224-233. DOI10.1016/j.foodhyd.2018.10.044.

- Jiang, X.Y., Shekarforoush, E., Muhammed, M.K., Whitehead, K., Simonsen, A.C., Arneborg, N., & Risbo, J. (2021). Efficient chemical hydrophobization of lactic acid bacteria - One-step formation of double emulsion. *Food Research International* 147, Article Number 110460. DOI:10.1016/j.foodres.2021.110460.
- Khan, S., J. Birch, M.-R. Van Calsteren, R. Ipsen, G.H.J. Peters, B. Svensson, P. Harris, K. Almdal (2018). Interaction between structurally different heteroexopolysaccharides and  $\beta$ -lactoglobulin studied by solution scattering and analytical ultracentrifugation. *International Journal of Biological Macromolecules* 111, 746-754.
- KU FOOD et al. 2020. Fremtidens plantebaserede fødevarer. Planteproteiner i fokus. Institut for Fødevarevidenskab, Københavns Universitet, Food and BioCluster Denmark, & Danish Food Innovation, <https://foodbiocluster.dk/viden/de-gode-og-usunde-planteproteiner?Action=1&currentPage=2&M=NewsV2&PID=63850>.
- Li, Q., Fu, Y., Zhang, L., Otte, J. & Lametch, R. (2020a). Plastein from hydrolysates of porcine hemoglobin and meat using Alcalase and papain. *Food Chemistry* 320, 126654.
- Li, Q., Liu, J., De Gobba, C., Zhang, L., Bredie, W.L.P. & Lametsch, R. (2020b). Production of taste enhancers from protein hydrolysates of porcine hemoglobin and meat using *Bacillus amyloliquefaciens*  $\gamma$ -glutamyltranspeptidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69, 11782-11789.
- Li, Q, Zhang, L., & Lametsch, R. (2020c). Current progress in kokumi-active peptides, evaluation and preparation methods: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1837726>.
- Liu, J., Toldam-Andersen, T.B., Petersen, M.A., Zhang, S., Arneborg, N. & Bredie, W.L.P. (2015). Instrumental and sensory characterisation of Solaris white wines in Denmark, *Food Chemistry* 166, 133-142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.148>.
- Lund, M.N. (2021). Reactions of plant polyphenols in foods: Impact of molecular structure. *Trends in Food Science and Technology* 112, 241-251.
- Mada, S.B., C.P. Ugwu, & M.M. Abarshi (2020). Health promoting effects of food-derived bioactive peptides: A review. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics* 26, 831-848.
- Marcial-Coba, M.S., Knöchel, S. & Nielsen, D.S. (2019a). Low-moisture food matrices as probiotic carriers. *FEMS Microbiological Letters*, 366:fnz006, 1-11.
- Marcial-Coba, M.S., Saaby, I., Knöchel, S. & Nielsen, D.S. (2019b). Dark chocolate as a stable carrier of microencapsulated *Akkermansia muciniphila* and *Lactobacillus casei*. *FEMS Microbiological Letters* 366,fnv290.
- Matzen, R.D., Leth-Espensen, J.Z., Jansson, T., Nielsen, D.S., Lund, M.N. & Matzen, S.H. (2018). The Antibacterial Effect *In Vitro* of Honey Derived from Various Danish Flora, *Dermatology Research and Practice*, bind 2018, 7021713. <https://doi.org/10.1155/2018/7021713>
- MBPDB: <http://mbpdb.nws.oregonstate.edu/>
- Mohd Noor, N.Q.I.B., L. Nuobariene, S.K. Rasmussen, N. Arneborg, & Å.S. Hansen, (2017). Changes in phytate content in whole meal wheat dough and bread fermented with phytase-active yeasts. *Cereal Chemistry*. 94(6), 922–927.
- Mouritsen, O.G., Duelund, L., Calleja, G., Frøst, M.B. (2017) Flavour of fermented fish, insect, game, and pea sauces: garum revisited. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 9, 16-28.
- Mouritsen, O.G. & Styrbæk, K. (2017) *Mouthfeel: How Texture Makes Taste* Columbia University Press, New York. 356pp.
- Mouritsen, O.G. & Styrbæk, K. (2021) [Tag smagen med på råd: om kostråd og den grønne omstilling](#). *SMAG* 13, 152pp.



- Munk, M., B. Munk, D.M.E., Gustavsson, F. & Risbo, J. (2018). Using Ethylcellulose to Structure Oil Droplets in Ice Cream Made with High Oleic Sunflower Oil. *Journal of Food Science* 83, 10. 2520-2526, DOI 10.1111/1750-3841.14296.
- Munk, M.B., Utoft, A., Larsen F.H., Needham, D. & Risbo, J. (2019) Oleogelating properties of ethylcellulose in oil-in-water emulsions: The impact of emulsification methods studied by C-13 MAS NMR, surface tension and micropipette manipulation studies. *Food Hydrocolloids* 89, 700-706.
- Nielsen, S.D., R.L. Beverly, Y. Qu & D.C. Dallas. (2017). Milk Bioactive Peptide Database: A Comprehensive Database of Milk Protein-Derived Bioactive Peptides and Novel Visualization. *Food Chemistry* 232, 673–82.
- Nielsen, E., Garnås, E., Jensen, K., Hansen, L.H., Olsen, P.S., Ritz, C., Krych, L. & Nielsen, D.S. (2018). Lacto-fermented sauerkraut improves symptoms in IBS patients independent of product pasteurisation - a pilot study. *Food and Function* 9:5323-5335.
- Nielsen, L. & Knøchel, S. (2020). Inactivation of salmonella strains in acidified broth and raw egg yolk as a function of pH and acid type. *Food Microbiology* 92, 103574. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103574>.
- Nishimura, T. & Kuroda, M. (eds) (2019) *Koku in Food Science and Physiology*. Springer.
- Otte, J., T. Lenhard, B. Flambard, & K. I. Sørensen (2011). Influence of fermentation temperature and autolysis on ACE-inhibitory activity and peptide profiles of milk fermented by selected strains of *Lactobacillus helveticus* and *Lactococcus lactis*. *International Dairy Journal* 21, 229-238.
- Pagenstecher, M., Maia, C., Andersen, M.L. (2021). Retention of iron and copper during mashing of roasted malts. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 79(2),138-144.
- Padonou, S.W., Nielsen, D.S., Akissoe, N.H., Hounhouigan, J.D., Nago, M.C. & Jakobsen, M. (2010). Development of starter culture for improved processing of Lafun, an African fermented cassava food product. *Journal of Applied Microbiology* 109(4), 1402-1410. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04769.x>.
- Panyayai, T., C. Ngamphiw, S. Tongsim, W. Mhuanong, W. Limsripraphan, K. Chookongkoman, & O. Sawatdichaikul (2019): PeptideDB: A web application for new bioactive peptides from food protein. *Heliyon* 5 (2019) e02076 p.1-8.
- Papalexandratou, Z., Kaasik, K., Kauffmann, L.V., Skorstengaard, A., Bouillon, G., Espensen, J.L., Hansen, L.H., Jakobsen, R.R., Blennow, A., Krych, L., Castro-Mejía, J.L. & Nielsen, D.S. (2019). Linking cocoa varieties and microbial diversity of Nicaraguan fine cocoa bean fermentations and their impact on final cocoa quality appreciation. *International Journal of Food Microbiology* 304, 106-118. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.05.012>.
- Peng, C., Viana, T.M.L., Petersen, M.A., Larsen, F.H. & Arneborg, N. (2018), Metabolic footprint analysis of metabolites that discriminate single and mixed yeast cultures at two key time-points during mixed culture alcoholic fermentations. *Metabolomics* 14(7), 93. <https://doi.org/10.1007/s11306-018-1391-3>.
- Rasmussen, T.S., Mentzel, C.M.J., Kot, W., Castro-Mejía, J., Zuffa, S., Swann, J., Hansen, L.H., Vogensen, F.K., Hansen, A.K., Nielsen, D.S. (2020a). Faecal virome transplantation decreases symptoms of type-2-diabetes and obesity in a murine model. *Gut*, 69:2122-2130.
- Rasmussen, T.S., Koefoed, A., Rasmus, R.R., Deng, L., Castro-Mejia, J., Brunse, A., Neve, H., Vogensen, F.K. & Nielsen, D.S. (2020b). Bacteriophage-mediated manipulation of the gut microbiome - promises and presents limitations. *FEMS Microbiological Reviews*, 44:507-521.
- Ribeiro, J.S., Santos, M.J.M.C., Silva, L.K.R., Pereira, L.C.L., Santos, I.A., Lannes, S.C.D.S. & da Silva, M.V (2019). Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Science* 148, 181-188.

- Ringsted, T., H.W. Siesler, & S.B. Engelsen (2017). Monitoring the staling of wheat bread using 2D MIR-NIR correlation spectroscopy. *Journal of Cereal Science*, 75, 92-99, [10.1016/j.jcs.2017.03.006](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.006).
- Román, S., Sánchez-Siles, L. M., & Siegrist, M. (2017). The importance of food naturalness for consumers: Results of a systematic review. *Trends in Food Science and Technology*, 67, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.010>.
- Rossini, K., C. P.Z. Noreña, F. Cladera-Olivera, A. Brandelli (2009). Casein peptides with inhibitory activity on lipid oxidation in beef homogenates and mechanically deboned poultry meat. *LWT - Food Science and Technology* 42, 862–867.
- Schjørring-Thyssen, J., Olsen, K., Køhler, K., Jouenne, E., Rousseau, D. & Andersen, M.L. (2019). Morphology and structure of solid lipid nanoparticles loaded with high concentrations of  $\beta$ -carotene. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 67,12273 -82.
- Sektorudviklingsrapport (2016). Viden er den vigtigste ingrediens: Sådan kan forskning og uddannelse af kandidater understøtte den danske ingrediensindustri fortsatte succes på et globalt marked i stærk vækst. DI Fødevarer, Landbrug og Fødevarer og Danmarks Tekniske universitet.
- Shi, C. & Knöchel, S. (2021). Sensitivity of Molds From Spoiled Dairy Products Towards Bioprotective Lactic Acid Bacteria Cultures'.*Frontiers in Microbiology* 12, 631730. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.631730>.
- Siegrist, M., & Hartmann, C. (2020). Consumer acceptance of novel food technologies. *Nature Food*, 1(6), 343–350. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0094-x>.
- Siegrist, M., & Sütterlin, B. (2017). Importance of perceived naturalness for acceptance of food additives and cultured meat. *Appetite*, 113, 320–326. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.03.019>.
- Styrbæk, K. & Mouritsen, O.G. (2020) *Grønt med umami og velsmag: Håndværk, viden & opskrifter*. Gyldendal, København. 352 pp.
- Thuanthong, M., De Gobba, C., Sirinupong, N., Youravong, W. & Otte, J. (2017). Purification and characterization of angiotensin-converting enzyme-inhibitory peptides from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin gelatine produced by an enzymatic membrane reactor. *Journal of Functional Foods* 36, 243-254.
- Tilsætningsstoffer til Fødevarer (E-numre), Hjemmeside under Fødevarestyrelsen: <https://www.foedevarestyrelsen.dk/Leksikon/Sider/Fakta-om-tils%C3%A6tningsstoffer.aspx>
- Tilsætningsstofforordningen 1333/2008. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/?qid=1592318216876&uri=CELEX:32008R1333>
- Vejledning 9346/2017. Vejledning om tilsætningsstoffer, vejledning nr. 9346 af 7. april 2017, Fødevarestyrelsen, Miljø og Fødevaremisteriet.
- Vejledning 9682/2019. Vejledning om tilsætning af vitaminer, mineraler og visse andre stoffer til fødevarer.
- Yi, J., C. De Gobba, L. H. Skibsted & J. Otte (2017). Angiotensin-I converting enzyme inhibitory and antioxidant activity of bioactive peptides produced by enzymatic hydrolysis of skin from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). *International Journal of Food Properties* 20 (5), 1129-1144.
- Yin, J., Becker, E.M., Andersen, M.L., Skibsted, L.H. (2012). Green tea extract as food antioxidant. Synergism and antagonism with alpha-tocopherol in vegetable oils and their colloidal systems. *Food Chemistry* 135,2195-2202.
- Zhang, L., Huang, C., Johansen, P.G., Petersen, M.A., Poojary, M.M., Lund, M.N., Jespersen, L. & Arneborg, N. (2021). The utilisation of amino acids by *Debaryomyces hansenii* and *Yamadazyma triangularis* associated with cheese. *International Dairy Journal* 121, 105135. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105135>.



- Zhao, Y., Knøchel, S. & Siegumfeldt, H. (2017). Heterogeneity between and within Strains of *Lactobacillus brevis* Exposed to Beer Compounds. *Frontiers in Microbiology* 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00239>.
- Wang, L. & Y. L. Xiong (2005). Inhibition of lipid oxidation in cooked beef patties by hydrolyzed potato protein is related to its reducing and radical scavenging ability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 9186–9192.