



KARTLEGGING AV METODER FOR DEKONTAMINERING OG VEKSTKONTROLL AV LISTERIA I LAKSEPRODUKTER

AP2 i DekoLaks, FHF prosjektnummer 901839



Tittel (norsk og engelsk):

Kartlegging av metoder for dekontaminering og vekstkontroll av Listeria i lakseprodukter

Undertittel (norsk og engelsk):

AP2 i DekoLaks, FHF prosjektnummer 901839

Rapportserie:

Rapport fra havforskningen

ISSN:1893-4536

År - Nr.:

2025-73

Dato:

18.11.2025

Forfatter(e):

Julia Storesund (HI), Anita N. Jakobsen (NTNU), Sunniva Hoel (NTNU), Jørgen Lerfall (NTNU), Taran Skjerdal (VI), Robert Wolff (Sintef), Andreas Austnes (Sintef), Cecilie Smith Svanevik og Bjørn Tore Lunestad (HI)

Forskningsgruppeleder(e): Monica Sanden (Fremmed- og smittestoff (FRES))

Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Gro-Ingunn Hemre Programleder(e): Livar Frøyland

Distribusjon:

Åpen

Prosjektnr:

15952

Program:

Trygg og sunn sjømat

Forskningsgruppe(r):

Fremmed- og smittestoff (FRES)

Antall sider:

55

Samarbeid med

NTNU



Sammendrag (norsk):

Listeria monocytogenes (Lm) er en vanlig forekommende bakterie som kan føre til infeksjon og sykdom hos mennesker og dyr. Produksjonsmiljøer med kalde og glatte overflater, regnes vanligvis som ugjestmilde for matbårne humanpatogene bakterier, men Lm har flere egenskaper som gjør dem i stand til å overleve og vokse der. Utfordringene med Lm er særlig aktuelle for lettkonserverte matvarer med lang holdbarhet som skal spises uten videre varmebehandling, som for eksempel røkelaks, og røkelaks og andre lettprosesserte lakseprodukter har de siste årene vært knyttet til flere utbrudd i Europa. Forekomst av Lm i produksjonsmiljø og i ferdige produkter er derfor en økende utfordring for lakseindustrien, og næringen opplever stadig strengere krav til kontroll av Lm for å sikre mattrygghet i produktene

I prosjektet Dekontaminering og vekstkontroll av *Listeria* i lakseprodukter (DekoLaks) var hovedmålsetningen å teste og dokumentere bruk av barriereteknologi for dekontaminering og vekstkontroll av *Listeria* i lakseprodukter gjennom produksjonskjeden. Denne rapporten utgjør leveransen i Arbeidspakke 2, hvor målet var å levere en systematisk kartlegging av et utvalg metoder som allerede har dokumentert effekt på reduksjon av Lm, samt identifikasjon av særlige problemområder i slakterier og under videre foredling. Kartleggingen inkluderte samtaler med lakseprodusenter for å kvalitetssikre at metodene som ble planlagt testet ut i labskala, ikke er uforholdsmessig teknisk krevende eller for kostbare å innføre, samt at de kan oppskaleres og tas i bruk av prosessanlegg uavhengig av størrelse. Noen lovende strategier ble senere testet ut i labskala i andre arbeidspakker. Metodene ble også, så langt det lot seg gjøre, vurdert mot krav i gjeldene regelverk for mulige tilsetningsstoffer/konserveringsmetoder og merkekrav for matvarer i Norge/EU og viktige importland for norske lakseprodukter.

Metoder som ble utredet var bruk av ozon, hydrogenperoksid, UV-C, høyfrekvent pulserende lys (HPL), kald plasma og ultralyd, og flere viser potensiale for å bli tatt i bruk. To av metodene vurdert, ozon og hydrogenperoksid, er forholdsvis godt kjente kjemiske dekontamineringsmetoder som lenge har vært brukt til desinfeksjon, hovedsakelig på overflater eller i vann, men også i noen grad på matvarer. Begge stoffene er sterkt oksiderende og kan reagere med produktene, men flere studier indikerer at lave konsentrasjoner kan brukes uten å gi uakseptable forandringer i sensoriske egenskaper. UV-C stråling og HPL i akseptable doser har begge en inaktiverende effekt på Lm, med noe høyere grad av dekontaminering knyttet til bruk av HPL enn ved bruk av UV-C. Begge metodene begrenser seg til overflatedekontaminering, og fungerer dårligere på ujevne overflater. Lm har også generelt høy resistens mot denne behandlingen, mest sannsynlig knyttet til den gram positive celleveggen og et effektivt DNA-reparasjonssystem. Kald plasma viser lovende resultater for dekontaminering av Lm og biofilmer, med forholdsvis moderate effekter på produktkvaliteten. Et mulig problem er at det er stor variabilitet i effektene av kald plasma avhengig av hvordan plasmaen blir dannet og produktet det brukes på, og det vil sannsynlig kreve en del metodetilpasning avhengig av behovet i forskjellige bedrifter. Ultralyd ser hovedsakelig ut til å ha en effekt på Lm dersom det brukes i kombinasjon med økt temperatur, tilsetningsstoffer eller UV eksponering.

Generelt har alle metodene potensiale til å bidra til Lm-dekontaminering, spesielt om de kombineres med hverandre eller med andre tiltak som for eksempel tilsetningsstoffer og biokonservering.

Sammendrag (engelsk):

Listeria monocytogenes (Lm) are bacteria commonly found in the environment that can cause infection and disease in humans and animals. Production environments with cold and smooth surfaces are usually considered inhospitable for food-borne human pathogenic bacteria, but Lm has several properties that enable them to survive and grow there. Challenges with Lm are particularly relevant for foods with little processing and with a long shelf life that are to be eaten without further heat treatment, such as smoked salmon. Smoked salmon and other lightly processed salmon products have in recent years been linked to several outbreaks in Europe. The occurrence of Lm in production environments and in ready-to-eat products is therefore an increasing challenge for the salmon industry, and the industry is experiencing increasingly strict requirements for the control of Lm to ensure the food safety of the products.

In the project Decontamination and growth control of *Listeria* in salmon products (DekoLaks), the main objective has been to test and document the use of barrier technology for decontamination and growth control of *Listeria* in salmon products throughout the production chain. This report constitutes the deliverable in Work Package 2, where the goal was to deliver a systematic mapping of a selection of methods that already have a documented effects on the reduction of Lm, as well as identification of specific problem areas in slaughterhouses and during further processing. The mapping included discussions with salmon producers to ensure that the methods planned to be tested at the lab scale are not disproportionately technically demanding or too expensive to implement, and that they can be scaled up and used by processing plants regardless of the size of the plant. Promising strategies were later tested at the lab scale in other work packages. The methods were also, as far as possible, assessed against requirements in current regulations for possible additives/preservation methods and labelling requirements for foods in Norway and the EU, as well as in major countries the products are exported to.

Methods that were investigated included the use of ozone, hydrogen peroxide, UV-C, high-frequency pulsed light

(HPL), cold plasma and ultrasound, and several show potential for use against Lm. Ozone and hydrogen peroxide are both relatively well-known chemical decontamination methods that have long history of use for disinfection, mainly on surfaces or in water, but also to some extent on food products. Both substances are strong oxidizers and can react with the products, but several studies indicate that low concentrations can be used without causing unacceptable changes in sensory properties. UV-C radiation and HPL in acceptable doses both have an inactivating effect on Lm, with a somewhat higher degree of decontamination associated with the use of HPL than with the use of UV-C. Both methods are limited to surface decontamination and have less effect on uneven surfaces. In addition, Lm generally have high resistance to this treatment, most likely related to the gram-positive cell wall and an efficient DNA repair system. Cold plasma shows promising results for decontamination of Lm and biofilms, with relatively moderate effects on product quality. A possible problem is that there is great variability in the effects of cold plasma depending on how the plasma is generated and the product it is used on, and this will likely require some method adaptation depending on the needs of different companies. Ultrasound mainly appears to have an effect on Lm if used in combination with increased temperature, additives or UV exposure.

In general, all methods have the potential to contribute to Lm decontamination, especially if combined with each other or with other measures such as additives and biopreservation.

Innhold

1	Bakgrunn	6
2	Problemområder i lakseindustrien – slakterier og videreforedling	8
3	Aktuelle strategier for dekontaminering i andre matvaresektorer	10
3.1	Kjemiske og fysiske metoder	10
3.2	Biokonservering	11
3.3	Barriereteknologi	13
4	Aktuelle strategier for dekontaminering i laksenæringen	14
4.1	Dekontaminering av utblødningsvann	14
4.2	Fysiokjemiske dekontamineringsmetoder	14
4.2.1	<i>Kontinuerlig UV-C lys</i>	14
4.2.2	<i>Høyfrekvent pulserende lys (HPL)</i>	18
4.2.3	<i>Hydrogenperoksid</i>	21
4.2.4	<i>Ozon</i>	26
4.2.5	<i>Kald plasma</i>	28
4.2.6	<i>Ultralyd</i>	33
5	Konklusjon	35
7	Referanser	36
	Takk til	54

1 - Bakgrunn

Listeria monocytogenes (*Lm*) er en vanlig forekommende bakterie som kan føre til infeksjon og sykdom hos mennesker og dyr. Infeksjonsdose varierer med generell helsetilstand (Pouillot et al., 2015; VKM et al., 2021), og friske mennesker blir vanligvis ikke syke, eller får kun milde symptomer. Svekkede eldre, immunsvekkede, og gravide kan derimot utvikle alvorlig, invasiv listeriose (VKM, 2018), som har en dødelighet opp mot 8-12 % (EFSA, 2022, 2023, 2024).

Produksjonsmiljøer med kalde og glatte overflater, regnes vanligvis som ugjestmilde for matbårne humanpatogene bakterier, men *Lm* har flere egenskaper som gjør dem i stand til å overleve og vokse der. Bakteriene har blant annet flere gener for kuldetoleranse (Nichols et al., 2002; Schmid et al., 2009; Zhu et al., 2005), og vokser derfor bra ved lave temperaturer. De kan danne biofilm på overflater, noe som beskytter mot både mekanisk fjerning og desinfeksjonsmidler (Fagerlund et al., 2021), og de kan gå inn i en inaktiv hvilefase og dermed unngå å ta skade av baktericider (Knudsen et al., 2013).

Utfordringene med *Lm* er særlig aktuelle for lettkonserverte matvarer med lang holdbarhet som skal spises uten videre varmebehandling, som for eksempel røkelaks (Lambrechts & Rip, 2024). Røkelaks og andre lettprosesserte lakseprodukter har de siste årene vært knyttet til flere utbrudd i Europa (EFSA, 2024), blant annet bearbeidede produkter fra anlegg i Sverige, Polen og Estland, hvor det ikke kunne utelukkes at råvarene var kontaminert hos primærprodusenten i Norge (ECDC & EFSA, 2019). Forekomst av *Lm* i produksjonsmiljø og i ferdige produkter er derfor en stor utfordring for lakseindustrien, og næringen opplever stadig strengere krav til kontroll av *Lm* for å sikre mattrygghet i produktene. Forordning (EU) 2024/1895 krever fravær av *Lm* i 25g i produkter der vekst av *Lm* er mulig. Alternativt kan produsenten dokumentere produksjonspraksis som sikrer at *Lm* i produktene ikke vil overskride 100 CFU/g gjennom hele holdbarhetsperioden (Forordning (EU) 2024/1895). Flere viktige importører av norsk sjømat, som Kina og USA, har nulltoleranse for denne bakterien i produkter som skal ut på markedet. En eventuell påvisning av *Lm* i ferdigpakkede produkter kan føre til kostbare tilbaketrekkninger av hele partier, og det er et behov for mer kunnskap om effektive tiltak for å oppnå økt kontroll med *Lm* (Belias et al., 2022).

I prosjektet *Dekontaminering og vekstkontroll av Listeria i lakseprodukter (DekoLaks)* (FHF prosjektnummer 901839) har hovedmålsetningen vært å teste og dokumentere bruk av barriereteknologi for dekontaminering og vekstkontroll av *Listeria* i lakseprodukter gjennom produksjonskjeden. Hypotesen var at en indirekte dekontaminering med rensing av prosessvann under utblødning og direkte dekontaminering av fiskens overflate i ulike prosessstrinn etter sløying, kan benyttes for å nullstille kontaminering for å oppnå økt kontroll med *Lm*. Slike tiltak er i liten grad kartlagt med hensyn til dokumentert effekt og risiko, samt muligheter for implementering i produksjonskjeden.

Arbeidspakkene i DekoLaks inkluderer: en overordnet kartlegging av kjente metoder for dekontaminering av produkter med *Listeria*-bakterier (AP2), undersøkelse av effektene av dekontaminering av prosessvann (AP3), utprøving i lab skala av noen utvalgte industrirelevante fysiokjemiske dekontamineringsmetoder basert på informasjon fra AP2 (AP4), og AP5 med hovedfokus på undersøkelse av mulighet for biologisk vekstkontroll og dekontaminering ved hjelp av melkesyrebakterier eller produkter fra disse. En egen arbeidspakke (AP6) for risikovurdering av effektene av tiltak testet i AP3-AP5 er også inkludert i prosjektet. Denne rapporten utgjør leveransen i Arbeidspakke 2.

Målet i denne delen av prosjektet inkluderte en systematisk kartlegging av et utvalg metoder som allerede har dokumentert effekt på reduksjon av *Lm*, samt identifikasjon av særlige problemområder i slakterier og under

videre foredling. Kartleggingen inkluderte samtaler med lakseprodusenter for å kvalitetssikre at metodene som ble planlagt testet ut i labskala, ikke er uforholdsmessig teknisk krevende eller for kostbare å innføre, samt at de kan oppskaleres og tas i bruk av prosessanlegg uavhengig av størrelse. De mest lovende strategiene ble senere testet ut i labskala.

Det var viktig å undersøke hvilke nye metoder for dekontaminering og vekstkontroll industrien vil finne det hensiktsmessig å ta i bruk. Et viktig kriterium for innføring av ett eller flere dekontamineringsstrinn i produksjonskjeden er at produktets sensoriske eller fysiokjemiske egenskaper ikke påvirkes negativt. Det vil videre være en fordel at behandlingen ikke utløser krav til merking ("clean label"). Følgelig må alle prosesser som inkluderer bruk av tilsetningsstoffer eller kjemikalier som kan etterlate rester på produktet vurderes med tanke på dette. B ransjens ønske om "clean label" strategier for de ulike metodikkene er tatt i betraktning, ettersom dette vil ha innvirkning på eventuelle krav om deklareringsmetodikkene som er benyttet.

I tillegg ble metodene, så langt det lot seg gjøre, vurdert mot krav i gjeldene regelverk for mulige tilsetningsstoffer/konserveringsmetoder og merkekrav for matvarer i Norge/EU og importland for norske lakseprodukter.

Delmål:

- I. Identifisere problemområder i slakterier
- II. Identifisere problemområder under videreforedling
- III. Kartlegge utvalgte metoder med dokumentert effekt, med særlig fokus på fysiokjemiske dekontamineringsmetoder og prosessvann

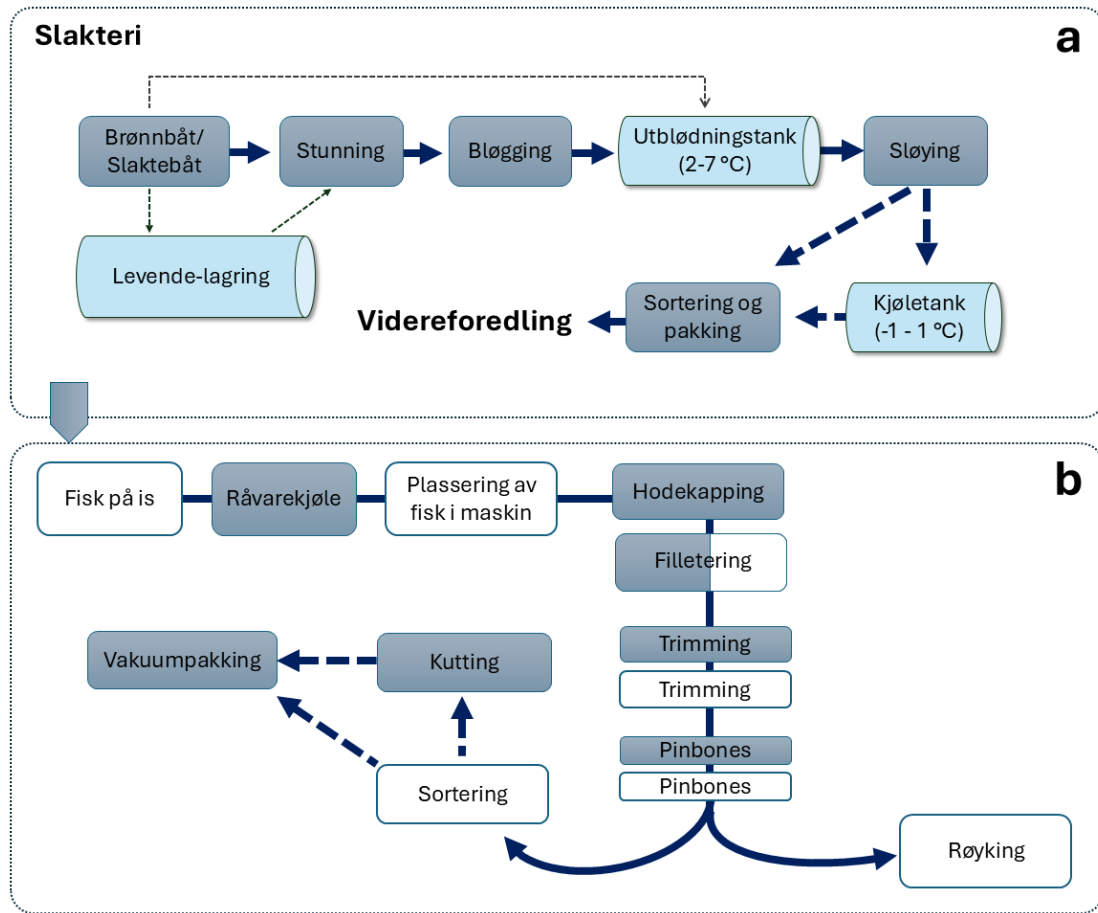
2 - Problemområder i lakseindustrien – slakterier og videreforedling

Utfordringer med *Lm* i matvarebransjen har blitt ansett som økende med høyere grad av prosessering. Det er også kjent at persistente *Lm*-stammer kan etablere seg i produksjonsanlegg og fungere som en kontinuerlig kilde til kontaminering av produkter under videre prosessering (Holah et al., 2004; Svanevik et al., 2021). Slakterier og videreforedlingsanlegg bruker betydelige ressurser på analyser, kartlegging og tiltak for å forebygge *Lm* gjennom omfattende renholds- og desinfeksjonsrutiner, samt løpende kontroller av sine anlegg og produkter.

Slakterier for laksefisk er av varierende størrelse og utforming, men et generalisert flytskjema er vist i **Figur 1a**. En rekke trinn i slakteprosessen kan utgjøre en utfordring med tanke på *Lm*. Det er godt kjent at våte områder med mye organisk materiale (blod, slim eller rester av skinn og muskel), gir større utfordringer sammenlignet med tørre og rene områder, noe som også bekreftes i samtaler og diskusjon med næringen. Forskjellige aktører identifisere ulike punkt i produksjonen som særlig kritiske, men felles er smittepotensialet fra tanker og bad, transportbånd og maskiner som sløyemaskiner og grader. Et mulig viktig reservoar for *Lm* på transportbånd er områder med sprekker som åpnes når det passerer en rulle. Sløyemaskiner, gradere og rensemaskiner kan også utgjøre reservoarer som *Lm* fra fiskens overflate kan overføres til, og det har vært spekulert i om *Lm* kan være til stede i fiskens tarmsystem, og ved sløyning overføres derfra til overflater i anlegget. Videre vil områder hvor biofilm dannes kunne utgjøre en kontinuerlig kilde til *Lm* som kan kontaminere produkter (Fagerlund et al., 2022). Tidligere undersøkelser har identifisert avløpsrenner som et særlig viktig reservoar for *Lm* (Fagerlund et al., 2022), og bruk av høytrykksspyling på gulv og over renner må begrenses, siden dette kan virvle opp små vandrdråper med *Lm* som kan fraktes rundt i lokalene.

Lm-kontaminering i slakteanlegg er mest sannsynlig knyttet til mengden *Lm* som kommer inn med fisken, hvor det kan være store variasjoner. Sesongvariasjoner i *Lm* har tidligere blitt observert i andre land og industrier, hvor det blant annet har blitt rapportert om økt mengde *Lm* i melkeindustrien i Nord-Italia om våren og høsten (Dalzini et al., 2016). I Norge rapporterer noen aktører i lakseindustrien om en tendens mot større mengder *Lm* på våren, mens andre rapporterer om lite *Lm* om våren, men større mengder på høsten. Tidligere studier har påvist *Lm* på laks i merder, men kunne ikke fastslå sesongvariasjoner i forekomsten (Hoel et al., 2021). Det er mulig at observasjonene fra næringen kan knyttes til lokale forhold som nedbør og avrenning fra land nært oppdrettsanlegg som leverer fisk til slakteriene. Det er godt kjent at listeriose er en særlig utfordring hos husdyr, spesielt sau (Grønstøl, 1979), og det kan tenkes at avføring fra sau og andre husdyr kan ende opp i kystnære farvann ved avrenning fra land, og dermed kontaminere fisk som skal til slakting. God kunnskap om lokale forhold i områdene rundt lakseanleggene kan derfor være fordelaktig.

Kontaminering av produkter med *Lm*, eller vekst av bakterier i allerede kontaminerte produkter, kan også skje senere i produksjonskjeden. **Figur 1b** viser typiske trinn i videreforedling av laks, og hvert trinn representerer en mulighet for å tilføre eller oppformere *Lm*. Her vil tidsbruk og temperaturen produktene blir utsatt for på hvert steg ha stor betydning.



Figur 1a) Generalisert oversikt over produksjonskjeden til atlantisk laks fra brønnbåt/slaktebåt til sortering og pakking. Leddene i kjeden varierer mellom slakterier, og om fisken blir levert levende fra brønnbåt eller ferdig slaktet fra slaktebåt. **b)** Generalisert oversikt over produksjonskjeden under videreforedling av sløyd laksefisk. Maskinelle steg er merket i grått, manuelle steg i hvitt. Trinnene i kjeden varierer mellom bedrifter, og enkelte bedrifter har i tillegg et steg med injeksjon av saltlake på enkelte produkter.

3 - Aktuelle strategier for dekontaminering i andre matvaresektorer

Lm er i hovedsak en utfordring knyttet til mattrygghet for spiseferdige, lettkonserverte og langtidsholdbare konsumprodukter (EFSA, 2022). I slike produkter ligger det til rette for vekst av *Lm* dersom kravene til kombinasjonen av lagringstid og temperatur ikke blir oppfylt. Aktuelle produktklasser kan være bløtoster, spiseferdige kjøttprodukter, inkludert pålegg, samt ikke varmebehandlede fiskeprodukter. Imidlertid har også andre produkter, som juice, frukt og grønnsaker, vært satt i sammenheng med utbrudd av listeriose (Marik et al., 2020).

3.1 - Kjemiske og fysiske metoder

Vegetabiliske produkter som frukt, grønnsaker, sopp, nøtter, frø, og juice konsumeres ofte uten varmebehandling, og det er dermed fare for smitte av *Lm* og andre patogener til forbruker (Kljujev et al., 2018; Parish, 1997). Flytende produkter som juice blir ofte dekontaminert med pasteurisering (Parish, 1997). Væsker uten mange og store partikler kan sterilfiltreres (Carneiro et al., 2002; Li et al., 2006), og behandling med høyt trykk, pulserende elektriske felt, UV bestråling, kontinuerlig pulserende lys, ultralyd, oppvarming ved strømgjennomføring (ohmic heating) og høytrykks CO₂ -prosessering har også blitt foreslått (Bhattacharjee et al., 2019; Pataro et al., 2011). Frukt og grønnsaker dekontamineres ofte med vann tilsatt aktive komponenter som hypokloritt (50 til 200 mg/kg i 1 til 2 min), klordioxid (5 mg/kg i opptil 30 min), per-eddisyre (100 mg/kg i 5 min), ozonert vann (3 mg/kg i 5 min), eller elektrolysert oksyderende vann (i opptil 5 min), hydrogenperoksid (5% i 2 min) (Pietrysiak et al., 2019). Videre har fysiske metoder som UV-lys, pulserende lys, ultralyd og kaldplasma induert gass, samt ioniserende stråling (gamma og røntgenstråling) også vært testet ut på flere produkter med lovende resultater (Agüero et al., 2016; Khandpur & Gogate, 2016; Pietrysiak et al., 2019).

I meierisektoren benyttes det en rekke strategier for å minimere utfordringene med *Lm*, blant annet pasteurisering eller ultrapasteurisering som dreper eventuell *Lm* som er til stede. For pasteurisert og ultrapasteurisert melk er oppbevaring i kjøleskap etter åpning av emballasjen vanlig, og kjølingen vil hemme veksten av *Lm* og andre mikroorganismer som skulle være tilført etter åpning (Porcellato et al., 2018). En rekke nye teknologier er vurdert for reduksjon av *Lm* i melk og andre meieriprodukter. Disse er avhengig av produktkategori, og inkluderer blant annet ikke varmebaserte teknologier som høytrykksbehandling, pulserende elektriske felt, ultralyd og UV-bestråling (Lee et al., 2019), tilsetning av eteriske oljer eller andre "naturlige" konserverende stoffer (Ritota & Manzi, 2020), samt bruk av nanopartikler eller algeekstrakter (El-Zamkan et al., 2021). Ved kommersiell produksjon av ost, benyttes som regel melk som på forhånd er pasteurisert, eller melk som varmes direkte under produksjonen. For å hindre eller senke vekst av *Lm* ved modning av osten i bad, benyttes mettet saltlake der salt etterfylles når deler av dette blir tatt opp i osten. Noen oster tilsettes også klassiske konserveringsmidler som natriumnitritt eller benzoater (Jelena & Zorana, 2022).

For kjøtt, inkludert fjærfe, brukes mange tilnærminger for å minimere utfordringene med *Lm* gjennom hele produksjonskjeden fra produsent til forbruker. Dette kan være vask av dyr før transport og slakting, hygienisk nedskjæring av slakt, behandling av slakteskrotter med vanddamp, og generell hygiene inkludert vask og desinfeksjon i produksjonslokalene. En rekke strategier, inkludert bruk av kvartære ammoniumsforbindelser (QACs), syrer, klor-dioksid og hypokloritt i kombinasjon med alkaliske rengjøringsmidler, brukes også for å hindre biofilmdannelse på produksjonsutstyr som er i kontakt med produkter (Fagerlund et al., 2017; Shimojima et al., 2023; Tezel & Pavlostathis, 2015). Det er en del utfordringer knyttet til bruk av desinfeksjonsmidler i produksjonslokaler, blant annet er utvikling av resistens mot QACs hos *Lm* et kjent problem (Conficoni et al.,

2016; Mohapatra et al., 2023; Tezel & Pavlostathis, 2015). Enkelte metoder som er i bruk for å begrense *Lm* vekst i produksjonsmiljøer, som blant annet vaskemidler og syrer, har også vist seg å selekttere for mer resistens mot andre desinfeksjonsmidler som etanol og hydrogenperoksid (Lou & Yousef, 1996, 1997; Taormina & Beuchat, 2001). Dekontamineringsmetoder som brukes direkte på produktene inkluderer ofte mer tradisjonelle konserveringsmetoder som koking, pH reduksjon ved fermentering, røyking, og reduksjon av vannaktivitet gjennom tørking (Ingham et al., 2004). Disse metodene fører ofte til en betydelige endringer i det sensoriske uttrykket av produktene. Andre metoder som gir mindre sensoriske endringer har vært undersøkt, som kontinuerlig UV-C og HPL (Keklik et al., 2012; Nicorescu et al., 2014), ozon (Pandiselvam et al., 2022) gammastråling (Zhu et al., 2005), og plasmaaktivert vann (Nicorescu et al., 2014; Pandiselvam et al., 2022; Shanker et al., 2023), men av disse er det hovedsakelig UV-C som er rutinemessig i bruk. Modifisert atmosfærepakking (MAP) av produkter hvor oksygen erstattes med gasser som CO₂ eller nitrogen brukes for mange kjøttprodukter (Franco-Abuín et al., 1997), hvor forskjellige studier har vist varierende resultater for hemming av *Lm*-vekst (Gonzalez-Fandos et al., 2020; Saraiva et al., 2016), men generelt gode resultater når MAP kombineres med syretilsetningen eller melkesyrebakterier (Mataragas et al., 2003; Skjerdal et al., 2021; Williams & Golden, 2001; Yang et al., 2024).

Eteriske oljer som lavendel-, rosmarin- og oreganoolje med antimikrobielle egenskaper har blitt nevnt som mulige konserveringsmidler på mange typer matvarer, inkludert kjøtt, fisk, melkeprodukter og vegetabiliske produkter (Dogruyol et al., 2020; Gottardo et al., 2022; Khaleque et al., 2016). Mange av disse oljene har sterk lukt og/eller smak, og vil mest sannsynlig føre til endring i lukt og smak på produktet, samt føre til krav om merking. Allergier vil også potensielt kunne føre til problemer ved bruk av eteriske oljer (Tongnuanchan & Benjakul, 2014).

Flere av metodene som er i bruk, eller vurderes tatt i bruk, kan endre sensorikk og næringsinnhold i enkelte produkter, men ha liten effekt på andre typer produkter. For eksempel vil frukt og grønnsaker med hardt skall tåle mange kjemiske og fysisk dekontamineringsstrategier uten store endringer i smak og utseende, mens bær, oppskåret frukt og sopp krever mildere behandling (Pandiselvam et al., 2022; Patra et al., 2022; Shanker et al., 2023). Felles for mange av metodene som ikke medfører store sensoriske endringer på produktene, er at de kun dekontaminerer overflaten på produktene, og eventuelle bakterier som ligger gjemt i porer, sprekker, under folder eller på undersiden av produktene vil i liten grad bli påvirket, dette kalles ofte «skyggeeffekt» (Keklik et al., 2012).

3.2 - Biokonservering

Fermentering er blant de mest tradisjonsrike metodene vi har for konservering av mat, og forbindes kanskje spesielt med meieriprodukter og grønnsaker, men det er mange steder også tradisjoner for fermentering av fisk og kjøtt (Barcenilla et al., 2022; Mukherjee et al., 2022; Shi & Maktabdar, 2022). Ved biokonservering brukes ikke-patogene mikroorganismer (bakterier, sopp og bakteriofager) for å utkonkurrere eller hemme uønskede og potensielt skadelige mikroorganismer. Dette skjer enten ved direkte konkurranse mellom mikroorganismene om næring og overflater, ved å skape et surt, ugjestmildt miljø via fermentering, ved produksjon av bakteriosiner som hemmer vekst av andre mikroorganismer, ved å aktivt infisere og drepe mikroorganismer, eller en kombinasjon av disse (Morales-Ramos et al., 2024; Singh, 2018; Yang et al., 2024).

Bruk av biokonserverende mikroorganismer som ikke endrer produktets smak og utseende, er av økende interesse for produsenter av mange matvarer (Barcenilla et al., 2022; Morales-Ramos et al., 2024; Shi & Maktabdar, 2022). Dette kan innebære tilsetning av bakterier som dreper eller hemmer veksten av andre mikroorganismer ved at de produserer bakteriosiner, syrer eller en kombinasjon av disse. Bakteriosiner er

naturlig forekommende antimikrobielle forbindelser som blir syntetisert av en rekke bakterier, både gram-negative, og gram-positive, inkludert melkesyrebakterier (Martínez et al., 2019; Mataragas et al., 2003).

Melkesyrebakterier har et stort potensial for biokonservering av sjømat som fersk og lett prosessert laks siden de kan vokse ved lav temperatur, tolererer relativt høye konsentrasjoner av salt og røyk, samt kan vokse uten tilgang til oksygen (Stupar et al., 2023; Wiernasz et al., 2017, 2020). I tillegg har flere studier vist at melkesyrebakterier høy grad hemmer vekst av *Lm* og andre uønskede mikroorganismer i sjømat (Ghanbari et al., 2013; Stupar et al., 2021).

Flere studier har undersøkt den hemmende effekten av forskjellige stammer av melkesyrebakterier som *Pediococcus* spp. og *Lactobacillus* spp. mot *Listeria* spp., blant annet i ost, grønnsaker og kjøttprodukter med lovende resultater (Aragon-Alegro et al., 2021; Barbosa et al., 2018; López-Mendoza et al., 2007; Mataragas et al., 2003; Ramos et al., 2020). Studier har også blitt gjort på den beskyttende effekten melkesyrebakterier kan ha på røkelaks og gravlaks med lovende resultater (Aymerich et al., 2019; Wiernasz et al., 2020). I en nylig publisert studie (Gonzales-Barron et al., 2024) hvor risikoreduserende strategier for *Lm* i røkt og gravet fisk ble vurdert, ble det konkludert at bruk av melkesyrebakterier som biobeskyttende kulturer, sammen med lave lagringstemperatur er mer effektivt for å redusere listeriarisiko enn å fokusere på å redusere kontamineringsnivået i innkommende fisk.

En annen fordel er at melkesyrebakterier er ansett som trygge (Ghanbari et al., 2013). Siden bruk av melkesyrebakterier til fermenteringsformål er utbredt i næringsmiddelindustrien har de fleste melkesyrebakteriene en GRAS (Generally Recognized as Safe) eller QPS (Qualified Presumption of Safety) status (FDA, 2018; Koutsoumanis et al., 2021). QPS-status er resultatet av en forhåndsvurdering som dekker ulike sikkerhetsaspekter, og listen over bakterier med QPS-status opprettholdes i samsvar med mandatet til EFSA Biohazard Panel. Den inkluderer flere melkesyrebakterier innen slektene *Carnobacterium*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus* og den nylig omklassifiserte *Latilactobacillus* (Koutsoumanis et al., 2021). Arter med QPS-status krever fortsatt en sikkerhetsvurdering på stamme-nivå.

Mikroorganismer som brukes til fermentering av tradisjonsrik mat regnes som «ingredienser» etter Europeisk lovgivning, og kommer inn under Forordning (EC) No 178/2002 (Mukherjee et al., 2022). Unntaket er mat uten «signifikant» historie i Europa før 1997, som regnes som «ny mat», etter forordning (EC) No 258/97, og som da krever en risikovurdering og godkjenning av EFSA (European Food Safety Authority) før produktene kan selges til forbrukere. Dette forordningen omfatter nye matvarer, nye ingredienser inkludert startkulturer for fermentering, og nye teknologier for produksjon av matvarer (Mukherjee et al., 2022). I USA har melkesyrebakterier, bakteriosiner og flere bakteriofagprodukter mot bl.a. *Listeria* «GRAS» status (Endersen & Coffey, 2020; Ramos et al., 2013).

Bakteriofager (fag) er virus som kun infiserer bakterier, og er en annen lovende, men mer kontroversiell metode for biokonservering (Komora et al., 2021; Martínez et al., 2019; Naanwaab et al., 2014; Perera et al., 2015). Bakteriofager er ofte veldig spesifikke, og infiserer kun få arter, én art, eller bare én stamme av bakterier (Thingstad et al., 2014, 2015). De kan dermed brukes spesifikt mot problembakterier uten at det er fare for infeksjon hos mennesker, dyr eller «nyttige» bakterier. Spesifisiteten kan derimot også være en barriere for bruk av bakteriofager fordi det i mange tilfeller vil kreve at det isoleres nye fag for hver bakterieart eller bakteriestamme man vil hindre vekst av. Bakterier er også i et konstant våpenkappløp mot bakteriofager og utvikler ofte resistens mot dem, slik at det kan bli nødvendig å isolere nye fag (Hill, 1993). Bruk av bakteriofager kan også være kontroversielt med tanke på forbrukere, som kan være skeptiske til produkter tilsatt virus selv om disse er etter grundig vurdering er helt ufarlige (Endersen & Coffey, 2020; Thompson et al., 2024).

Bruk av mikroorganismer til matkonservering krever merking, og disse produktene har derfor ikke «clean label». For meieriprodukter og en del andre tradisjonelle produkter tilsatt melkesyrebakterier er dette ukontroversielt for forbruker og myndigheter ettersom disse konserveringsmetodene har lange tradisjoner, og produkter tilsatt LAB regnes derimot ofte som ekstra helsebringende (Mukherjee et al., 2022).

3.3 - Barriereteknologi

Barriereteknologi (hurdle technology), innebærer å bruke en kombinasjon av flere metoder for dekontaminering og veksthemming for å fjerne eller hindre vekst av uønskede mikroorganismer på forskjellige stadier i produksjonen (Parish et al., 2003; Ramos et al., 2013). Barriereteknologi brukes under produksjon av mange matvarer, og kan blant annet inkludere varmebehandling, trykkbehandling, tilsetning av konserveringsmidler, kjølt oppbevaring, modifisert atmosfærepakking, eller tilsetning av bakteriofager eller melkesyrebakterier (Barbosa et al., 2018; Komora et al., 2021; Lenaerts et al., 2023; Zhang et al., 2021). Et eksempel fra kjøttbransjen er hemming av *Lm* ved å bruke en kombinasjon av MAP og tilsetning av enten syrer eller melkesyrebakterier (Mataragas et al., 2003; Skjerdal et al., 2021; Williams & Golden, 2001; Yang et al., 2024). Et annet eksempel er yoghurtproduksjon, hvor melk først varmes opp, så tilsettes melkesyrebakterier og fermenteres, og deretter oppbevares kaldt for å unngå vekst av uønskede mikroorganismer (Wang et al., 2025).

4 - Aktuelle strategier for dekontaminering i laksenæringen

Tilstedeværelse og etablering av *Lm* i produksjonsmiljøet for Atlantisk laks med påfølgende risiko for krysskontaminering til råstoffet er antatt hovedårsak til at bakterien påvises i laks. En mulig strategi for å oppnå bedre kontroll med *Lm* i laksenæringen vil kunne være å innføre dekontaminerende tiltak langs produksjonslinjen, enten som en indirekte dekontaminering rettet mot vann i utblødning/kjøle/buffer-tanker (**Figur 1a**), eller direkte dekontaminering av råstoff eller ferdig prosesserte lakseprodukter.

4.1 - Dekontaminering av utblødningsvann

En interessant strategi for indirekte dekontaminering av utblødningsvann er sentrifugering. Prinsippet bak dette er at partikler med større tetthet enn den vesken de finnes i kan fjernes ved at de blir spunnet ned gjennom påført økt tyngdekraft i en sentrifuge. Det rensede utblødningsvannet føres så tilbake til utblødningstanken i en kontinuerlig sløyfe, eventuelt kombinert med ytterligere behandling av lettfasen. Sentrifugering av vannet i utblødningstanken vil øke UV-transmittansen og redusere konsentrasjonen av partikler slik at dette dekontamineringstiltaket kan kombineres med blant annet membranfiltrering, UV bestråling eller bruk av aktive klorforbindelser for økt effekt. Denne strategien diskuteres ikke i detalj her, men skal testes ut i AP3.

4.2 - Fysiokjemiske dekontamineringsmetoder

Fysiokjemiske dekontamineringsmetoder som har antatt liten negativ effekt på produktegenskaper, slik som kontinuerlig UV-C lys i bølgeområdet rundt 254 nm, høyfrekvent pulserende lys (HPL), kald plasma induisert vann og is, ozonert vann og bruk av hydrogenperoksid (H_2O_2), har blitt kartlagt og vurdert for labskalauttesting.

4.2.1 - Kontinuerlig UV-C lys

Prinsipp: Bruk av UV-stråling er en ikke-termisk teknologi som i hovedsak kan brukes til overflatedekontaminering. Bølgelengden til UV stråling ligger mellom 100-400 nanometer (nm), sammenlignet med synlig lys som har bølgelengder mellom 400 og 780 nm. Denne kortere bølgelengden forbundet med UV-stråling og annen elektromagnetisk stråling har høyere energi enn de lengre bølgelengdene i synlig lys. UV-A har en bølgelengde på 315-400 nanometer, UV-B på 280-315 nm, og UV-C på 200 til 280 nm (López-Malo & Palou, 2004). Bølgelengdene for UV-C lys regnes som de mest effektive for inaktivering av bakterier og andre mikroorganismer, hvor den mest effektive og brukte bølgelengden er 254 nm (Lopez-Malo & Palou, 2004). Dette er fordi DNA har absorpsjonsmaksimum i dette bølgeområdet, og inaktivering av DNA skjer når UV-C fotoner absorberes av de nitrogenholdige basene i DNA og fører til krysskoblinger, som igjen inhiberer normal celledeling og hemmer bakterievekst (Lopez-Malo & Palou, 2004).

Resistens mot UV-C hos ulike bakterier varierer og er knyttet til hvilke DNA reparasjonsmekanismer de har. Videre vil den fysiologiske tilstanden til bakteriene, som vekstfase og stress, spille en rolle (Gayán et al., 2015). *Lm* kan deaktiveres av UV-C lys, men det har blitt rapportert om høyere resistens hos *Lm* enn hos andre ikke-sporerdannende patogene bakterier, mest sannsynlig relatert til den gram-positive celleveggen og et effektivt DNA reparasjonssystem (Beauchamp & Lacroix, 2012; Cheigh et al., 2012; Gayán et al., 2015).

Dokumentert virkning på *L. monocytogenes* og andre mikroorganismer:

UV-C brukes for dekontaminering av overflater på en rekke produkter og pakningsmaterialer, som utvendig emballasje eller overflaten på frukt, grønnsaker og bakervarer, og brukes også til å dekontaminere produkter som flyttes mellom soner med ulike hygienivåer.

På faste overflater eksponert for UV-C lys vil inaktivering av bakterier hovedsakelig skje på områder som blir direkte eksponert. Ujevne overflater, eller overflater som er dekket av ikke-penetrerbar emballasje (f.eks. etiketter) kan derfor være et problem fordi disse områdene, og eventuelle mikroorganismer til stede, ikke vil bli tilstrekkelig utsatt for UV-strålingen (Keklik et al., 2012). En studie som undersøkte behandling med UV-C på rå laks, stål og polyetylen fant forskjeller i graden av inaktivering av bakterier på de forskjellige overflatene, med størst inaktivering av mikroorganismer på polyetylen, mindre inaktivering på stål, og minst på laks (Pedrós-Garrido et al., 2018). Videre har det blitt funnet lavere inaktivering av mikroorganismer, inkludert *Lm* på røykelaks enn på abiotiske overflater (Colejo et al., 2018). Pedrós-Garrido et al. (2018), undersøkte forskjellige eksponeringstider (0-90s) og distanser mellom UV-C kilde og overflate, hvor inaktivering av forskjellige mikroorganismer, blant annet *Listeria* spp. ble testet. Studien fant at CFU gikk raskere ned ved bruk av høyfrekvent pulserende lys (HPL) enn med UV-C, og med økt nærhet til produktet ved begge behandlinger (26-6 cm for UV-C, 11-3,5 cm for HPL), samt at inaktivering av *Listeria* spp. på rå lakseprodukter var signifikant høyere ved bruk av HPL enn ved bruk av UV-C. På en annen siden førte bruk av HPL til mer oksidering av produktene enn bruk av UV-C (Pedrós-Garrido et al., 2018).

For dekontaminering av flytende medier vil de fysiokjemiske egenskapene i væsken påvirke effektiviteten av behandlingen (Gayán et al., 2015). Bestråling med UV-C er utbredt ved behandling av vann etter at partikler i vannet er fjernet ved filtrering. For andre typer væsker med lavere grad av gjennomtrengning med UV-C-lys, avhenger den bakteriedrepende effekten i stor grad av produktsammensetningen, turbiditeten, dybden av væsken og konsentrasjonen av mikroorganismer og partikler (Keklik et al., 2012). Det har blitt utviklet UV-systemer som skaper turbulente strømmen for ugjennomsiktige væsker og dermed muliggjør større UV-C eksponering. Effektiviteten til dette har blant annet blitt undersøkt for inaktivering av virus (Blázquez et al., 2019) og koliforme bakterier i blodplasma (Blázquez et al., 2017), med lovende resultater.

Flere studier har undersøkt effekten av UV-C behandling for inaktivering av *Lm* med varierende resultater (Tabell 1). Cheigh et al., (2013) undersøkte effekten av UV-C (eksponering i 0-1960s) på fiskefilet inokulert med *Lm*, men fant ingen endring i CFU av *Lm*. Bernbom et al., (2011) undersøkte *Lm* kulturer dyrket i «laksejuice», tryptone soy broth (TSB) + glukose og TSB + glukose med NaCl som deretter ble inokulert på stålplater for biofilmdannelse, og observerte at *Lm* dyrket i TSB med glukose inokulert på stålplater ble inaktivert etter to minutters UV-C eksponering, mens samme dyrkingsmedia tilsatt NaCl gikk ned 4-5 log enheter ved 8-10 min eksponering. Tilstedeværelse av NaCl reduserte derfor effekten av UV-C, mest sannsynlig fordi salter kan føre til klumping av bakteriene, samt reduserer penetreringen av UV-C lys og biocider (Bernbom et al., 2011). Videre fant de at UV-C lys alene (254nm, 8-10min) reduserte mengde *Lm* dyrket i «laksejuice» med 2-5 log når behandlingen fant sted en time etter inokulering på stålplater, men ingen virkning på syv dager gamle biofilmer. Lignende resultater ble rapportert av Colejo et al., (2018), som sammenlignet UV-C inaktivering av *Lm* og andre patogener på agarskåler og røykelaks, og fant lavere inaktivering på røkt laks (< 1,3 log reduksjon) enn på agarskålene (~2 log reduksjon) selv om høyere dose ble brukt på laksen. Salter og organisk materiale ser med andre ord ut til å ha stor innvirkning på effektiviteten av UV-C behandling, ikke bare i væsker, men også på produksjons- og produktoverflater (Bernbom et al., 2011; Colejo et al., 2018; Gayán et al., 2015).

Effekt på produktkvalitet:

Flere studier har undersøkt effekten av UV-C dekontaminering på den sensoriske kvaliteten til lakseprodukter og annen sjømat (Tabell 1). Pedrós-Garrido et al., (2018) undersøkte effekten av UV-C og HPL ved ulike intensiteter på lakseproduktet, og observert fargeendringer på laksen ved UV-C behandling over 45s, eller HPL behandling over 200 mJ/cm², hvor laksen fikk et «kokt» utseende. Videre ble det observert høyere lipidoksidasjon ved bruk av HPL enn ved bruk av UV-C lys. Den høyeste undersøkte dosen av begge behandlingene, gav et synlig blekere produkt og harsk lukt. Colejo et al., (2018) undersøkte UV-C og ikke-termal plasmabehandling på røkelaks, og fant at UV-C behandling tilsvarende 900 mJ/cm² førte til en 0,5-1,3 log nedgang i CFU (blandet mikrobielt samfunn) uten endring i produktkvaliteten. Behandling med både UV-C og kaldplasma økte inaktiveringsgraden av bakterier ved doser under 500 mJ/cm². UV-C lys over 500 mJ/cm² kombinert med plasma-behandling over lengre tid (> 4 min) gav mindre effekt, og førte også til lipid-oksidasjon og fargeendringer på produktet.

Tabell 1: Utvalgte studier med fokus på UV-C behandling for dekontaminering

Testorganisme(r)	Kombinert med annen teknologi	Matrix	Eksposering UV-C	Bakteriereduksjon	Endringer i produktkvalitet	Referanse
<i>L. monocytogenes</i>	-	Stålplate, reker, laks	1000s	Ingen åpenbar effekt på <i>Lm</i>		Cheigh et al., 2013
<i>L. monocytogenes</i>	-	Stålplater	Varierende eksponeringstid	2-3 log reduksjon ved bruk direkte etter inokulering av produkt, ingen effekt på 7dg gamle biofilmer		Bernbom et al., 2011
<i>L. monocytogenes</i> , <i>L. innocua</i> , <i>S. Typhimurium</i> , <i>S. Enteritidis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Plesiomonas shigelloides</i>	-	Røkt laks	0 - 1000 mJ/cm ² (254nm)	0,5 – 1,3 log reduksjon	Reduksjon i sensorisk kvalitet ved eksponering > 900 mJ/cm ²	Colejo et al., 2018
	Ikke-termal plasma		0-500 mJ/cm ² , Plasma 0-4 min	0,1 – 1,57 log reduksjon	Ingen effekt på produkt ved lav eksponering, gulning og økt TBARS ved lang eksponeringstid	
<i>L. monocytogenes</i>	-	Rå laks	0,0075-0.6J/cm ²	0,2 – 0,9 log reduksjon	Gjenvekst av <i>Lm</i> , men forsinket 7 dager sammenlignet med kontroll	Holck et al., 2018
	-	Kaldrøkt laks	0,0075-0.6J/cm ²	0,7-1,3 log reduksjon	Gjenvekst av <i>Lm</i> , men forsinket 13 dager sammenlignet med kontroll, ingen sensoriske endringer	

<i>Listeria</i> spp., <i>Pseudomonas</i> spp., <i>Brochothrix thermosphacta</i> , <i>Photobacterium phosphoreum</i> , Enterobacteriaceae			26, 16 and 6 cm dist, 0-90s	Maksimal inaktivering ved kortest distanse fra produkt: $1,0 \pm 0,1$ log CFU/g ved 6 cm og 60 s eksponering	Fargeendring ved > 45s behandling	Pedros-Garrido et al., 2018
<i>Pseudomonas</i> sp., aerobe bakterier, LAB	Vakuumering	Vakuumpakket laks	360 J/m ² + redusert trykk (40 kPa)	Redusert vekst av <i>Pseudomonas</i> og aerobe bakterier, ingen endring i LAB vekst	Ingen endringer i sensorisk kvalitet	Damdam et al., 2023

Regelverk:

EU/Norge: UV-C er i bruk i industrien i Norge for dekontaminering av overflater, og er godkjent med tanke på arbeidsmiljø. «Det kreves ingen godkjenning eller melding til Strålevernet før UV-C-anlegg tas i bruk, men virksomheten plikter å ha oversikt over og kontroll med alle strålekildene (§ 21)...» Videre krever Arbeidstilsynet at ansatte skal beskyttes mot UV og IR stråling.

I EU og Norge faller UV-C behandling inn under kategorien «novel foods» Forordning (EC) No 258/97) om behandling fører til endringer i produktets sammensetning, næringsverdi eller nivå av uønskede substanser, og det kreves da «novel food approval» (Koutchma, 2018; Louis Bresson et al., 2016). For eksempel ble UV-C behandling av bakegjær og brød godkjent i henholdsvis 2014 og 2016, og i 2015 ble UV-C behandling av melk utredet av EFSA i henhold til Forordning (EC) No 258/97, hvor det ble konkludert at dette ikke førte til endringer i produktkvalitet (Louis Bresson et al., 2016).

USA: I USA regnes UV som stråling, og strålingskilder inkludert UV regnes som tilsetningsstoffer (Koutchma, 2018). Bruk av UV har blitt godkjent for bruk på flere typer matvarer av «the United States Food and Drug Administration» (US FDA) (Koutchma, 2018; U.S. Food and Drug Administration, 2022).

Kommentarer fra Laksenæringen:

UV-C stråling har i mindre grad blitt tatt i bruk i laksenæringen for dekontaminering av produkter, men der det har blitt installert ser det ut til å ha liten effekt på *Lm*. Det er uvisst hvorfor, men det er nærliggende å tro at det skyldes en kombinasjon av skyggeeffekt og for kort eksponeringstid. UV-lys blir imidlertid brukt i stor utstrekning for å rense vann i forbindelse med vanninntaket til kjøletanker i slakterier.

Fordeler:

- Godt kjent metode.
- Det er en ikke-termisk prosess og påvirker ikke produktkvaliteten i større grad slik høye temperaturer gjør.
- Ingen restforbindelser.
- Ingen kjemikalier benyttes.
- Enkle helse- og sikkerhetstiltak som mange steder allerede er i bruk, sikrer at lyset ikke spres ut fra systemet.

Ulemper:

- Effektiviteten avhenger i høy grad av egenskapene til produktet som behandles. Enkelte overflatestrukturer på produkter kan ha en innvirkning på den mikrobielle reduksjonen som oppnås.
- Kun overflatedekontaminering er mulig, metoden gir lav penetreringsdybde.
- Noen mikroorganismer, inkludert *Lm*, har gode DNA-reparasjonsmekanismer og kan derfor overleve hvis de utsettes for utilstrekkelige UV-C doser.
- Mulige konsekvenser for produktkvaliteten ved høye UV-doser for enkelte produkter.
- Lang behandlingstid kreves for effektiv deaktivering, dette øker igjen sannsynligheten for overflateoksidering på produktene.
- Tilstedeværelse av salter og organisk materiale senker effektiviteten til UV-C. UV-C absorberes av organisk materiale, og både organisk materiale og salter begrenser penetreringsdybden til UV-C lyset.
- UV-C-bestråling kan være helseskadelig for mennesker om øyne eller hud blir eksponert. Dette gjelder også ved lave doser, ettersom skader fra kontinuerlig eksponering kan bygge seg opp over tid. Det må derfor brukes verneutstyr eller UV-lamper plassert i lukkede tunneler eller beholdere.

4.2.2 - Høyfrekvent pulserende lys (HPL)

Andre navn brukt om denne teknologien inkluderer «Intense pulsed light (IPL)», «Pulsed UV (PUV)», og «Pulsed light technology (PLT)». Høyfrekvent pulserende lys (HPL) brukes her for å unngå forvirring.

Prinsipp:

Høyfrekvent pulserende lys (HPL) er en ikke-termisk prosess hvor korte, energirike elektriske pulser brukes for å produsere et intenst, bredspektrert lys for sterilisering av overflater (Bohrerova et al., 2008). Frekvensområdene inkluderer ultrafiolett (UV), synlig (VL) og infrarødt (IR) lys (200-1000nm) (Oms-Oliu et al., 2010). HPL er raskere og mer effektivt enn UV-stråling alene fordi samme mengde energi avgis over et kortere tidsrom (Bohrerova et al., 2008; Gómez-López et al., 2011). HPL-systemer kan levere lys i form av en enkelt puls, en serie av pulser, eller en kontinuerlig rekke av pulser. Uavhengig av antall pulser og varigheten, er kraften som leveres av pulser estimert til å være rundt 20 000 ganger mer intens enn den som leveres av en kontinuerlig lysstråle med tilsvarende total energi (Palmieri & Cacace, 2005). Som ved bruk av UV-C, vil HPL hovedsakelig være effektivt mot mikroorganismer til stede på overflater, og inaktiveringseffekten er signifikant mindre eller fraværende om bakteriene ligger skjult på undersider av produkter, i sprekker, eller inne i produkter (Gómez-López et al., 2005; Keklik et al., 2012). Bruk av HPL-teknologi involverer ikke bruk av toksiske kjemikalier, og det produseres heller ingen fotolytiske biprodukter fordi bølgelengdene som brukes er så lange at de ikke fører til ionisering av små molekyler (Palmieri & Cacace, 2005).

Dokumentert virkning på *L. monocytogenes* eller andre mikroorganismer:

Fordi HPL-metoden ikke er standardisert og energimengden produktet utsettes for kan varieres med antall pulser, bølgelengde på lys og avstand fra produktet, kan det være vanskelig å sammenligne resultatene fra HPL-studier med resultater fra bruk av andre, mer standardiserte metoder fordi selve HPL-metoden kan variere signifikant mellom studier (Bohrerova et al., 2008). Bohreroova et al. (2008) forsøkte å omgå noen av disse usikkerhetene ved å sammenligne effekten av UV-C lys og HPL med samme bestråling og dose (fluence-nivå, målt i mJ/cm^2), og fant at HPL hadde en signifikant bedre steriliserende effekt enn UV-C lys på mikroorganismer.

Flere studier har vist lovende resultater for deaktivering av flere typer bakterier på forskjellige matvarer, inkludert laks og annen sjømat (se Tabell 2 for eksempler). På rå laks behandlet med HPL tilsvarende 30 J cm^2 ble det rapportert om 0,7 log CFU/g reduksjon av naturlig bakteriell flora og en 1,5-log CFU/g reduksjon av *Pseudomonas fluorescens* etter behandling, men det var stor overlevelsesrate, og etterfølgende lagring på 4°C førte til en økning i CFU for bakgrunnsfloraen (Nicorescu et al., 2014). Samme studie rapporterte også om lavere inaktiveringsgrad på rå laks enn på røkte svineprodukter når disse ble utsatt for samme behandling. Det ble her spekulert i at dette var relatert til høy konsentrasjon av lipider og proteiner i laksen som kunne absorbere UV og dermed beskytte bakteriene, høy vannaktivitet som fremmer bakterievekst, skyggeeffekter på lakseoverflater, eller en kombinasjon av disse (Nicorescu et al., 2014). En annen studie som sammenlignet HPL og UV-C fant at kimtall (CFU) på lakseprodukter gikk ned raskere ved bruk av HPL enn med UV-C, og med økt nærhet til produktet (11-3,5 cm), samt at inaktivering av *Listeria* spp. på rå laks var signifikant høyere ved bruk av HPL enn ved bruk av UV-C (1,3 og 0,9 log CFU/g reduksjon respektivt) (Pedrós-Garrido et al., 2018). Ozer & Demirci, (2006) undersøkte effekten av HPL (med varierende lengde på pulsene, og med varierende avstand fra produktet) på rå laks inokulert med *E. coli* og *Lm*, og fant maks deaktiveringssrater på henholdsvis 1,09 og 1,02 log CFU/g. Videre har det blitt vist at HPL behandling av bivalver og blekksprut (Hwang et al., 2021), og reker og fiskefilet (Cheigh et al., 2013) førte til en reduksjon av *Lm* og *E. coli* i produktene undersøkt, men det ble rapportert om noen problemer med lavere reduksjon av mikrober i noen produkter som bivalver enn i andre produkter, mest sannsynlig relatert til en skyggeeffekt (Hwang et al., 2021).

En annen faktor som må tas i betraktning er at *Lm* har gode DNA-repareringsmekanismer, og kan etter HPL eksponering ha fotoreaktivering og vokse opp igjen. Fotoreaktiveringen ser imidlertid ut til å være lavere etter HPL behandling enn etter UV-C behandling (Gómez-López et al., 2005). Gjenvekst er generelt et problem ved HPL behandling, og vekst av *Lm* og andre mikroorganismer blir dermed forsinket, men ikke hemmet ved videre lagring (Holck et al., 2018; Nicorescu et al., 2014). Et annet interessant funn er at HPL ser ut til å ha mindre effekt på inaktivering av mikroorganismer, inkludert *Lm*, på fiskeprodukter enn på kjøttprodukter (Hierro et al., 2012; Nicorescu et al., 2014). Årsaken til dette er ikke klar, men et høyere lipid- og vanninnholdet i fisk, samt høyt UV-opptak i proteiner kan være noe av forklaringen (Nicorescu et al., 2014).

Effekt på produktkvalitet:

Flere studier har rapportert om endringer i produktkvalitet både på lakseprodukter og andre produkter ved høy HPL eksponering. Høyere lipidoksidasjon ved bruk av HPL enn ved bruk av UV-C lys ble observert av Pedrós-Garrido et al., (2018), hvor den høyeste undersøkte dosen gav et synlig blekere produkt og harsk lukt. Videre har det blitt rapportert om en økning i TBARS, som er et mål for nivået av lipidoksidasjon, i rå laks og røkte svineprodukter ved HPL behandling på 30 J cm^2 (Nicorescu et al., 2014). Overflatetemperaturen på lakseprodukter kan bli veldig høy, noen ganger opp til 100°C , ved lang behandlingstid eller om puls-kilden

plasseres nært produktet, og føre til fargeendringer og forandringer i produktkvalitet (Ozer & Demirci, 2006).

Tabell 2: Funn fra utvalgte studier som har fokusert på HPL behandling overflater og produkter av laks eller annen sjømat for reduksjon av *L. monocytogenes* eller andre bakterier.

Testorganisme	Matrix	HPL detaljer (pulser/tid/J)	Bakteriereduksjon	Endringer i produktkvalitet	Referanse
<i>L. monocytogenes</i>	Stålplater	0-2,2 J/cm ²	4,0-6,0 log reduksjon, "abrupt inactivation" ved 0,44 J/cm ²		Cheigh et al., 2013
	Reker, laks, flyndre	3600 pulser, 720s, total fluence 6,3 J/cm ²	2,2-, 1,9-, og 1,7-log reduksjon	Svak temp. økning (<5,0 °C), ingen fargeendring	
	Reker, laks, flyndre	6900 pulser, 1380s, total fluence 12,1 J/cm ²	2,4-, 2,1-, og 1,9-log reduksjon	Svak temp. økning (<5,0 °C), ingen fargeendring	
<i>L. monocytogenes</i>	Røykelaks	1,3–10,8 J/cm ²	0,7-1,3 log reduksjon	Ingen signifikant endring i produktkvalitet (vurdert av trent og utrent testpanel)	Holck et al., 2018
	Rå laks	1,3–10,8 J/cm ²	0,2–0,9 log (muskel) og 0,4–1,1 log (skinn) reduksjon		
<i>Listeria</i> spp., <i>Pseudomonas</i> spp., <i>Brochothrix thermosphacta</i> , <i>Photobacterium phosphoreum</i> , Enterobacteriaceae	Polyetylen	Varierende eksponeringstid (s) og distanse fra produkt (cm), tilsvarende mJ/cm ² doser på 14,4-200,7	> 4 log reduksjon på doser > 19 mJ/cm ²		Pedro's-Garrido et al., 2018
	Rustfritt stål	Varierende eksponeringstid (s) og distanse fra produkt (cm), tilsvarende mJ/cm ² doser på 14,4-200,7	Maks 2 log reduksjon på høyeste dose		
	Rå laks	Varierende eksponeringstid (s) og distanse fra produkt (cm), tilsvarende mJ/cm ² doser på 140,1-508,5	1,3 ± 0,1 log CFU/g at 3,5 cm for 12 s	Lipidoksidasjon observert, > 200 mJ/cm ² førte til "kokt" utseende	
<i>L. monocytogenes</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>Salmonella</i> Typhimurium, <i>E. coli</i>	Tunfisk carpaccio	0,7 – 11,9 J/cm ²	1,0 – 0,7 log CFU/cm ² reduksjon ved 8,4-11,9 J/cm ²	Ved doser >8,4-11,9 J/cm ² , «kokt» utseende og svak svovel lukt, vurdert av trent testpanel	Hierro et al., 2012
<i>P. fluorescens</i>	Laks	3,0 - 30 J/cm ²	0,7 - 1 log CFU/g reduksjon	Endret sensorikk («kokt» utseende) ved høyere doser	Nicorescu et al., 2014
<i>E. coli</i> , <i>L. monocytogenes</i>	Rå laks	Varierende antall pulser og eksponeringstid	0,74 – 1,02 log CFU/g reduksjon	Høy temperatur i filet, fargeendringer	Ozer & Demirci, 2006

Regelverk:

EU/Norge: HPL faller under samme regelverk som UV-C, det vil si at o m behandling fører til endringer i produktets sammensetning, næringsverdi eller nivå av uønskede substanser, kreves «novel food approval» i henhold til Forordning (EC) No 258/97 (Food Safety Authority of Ireland, 2020; Louis Bresson et al., 2016).

USA: I USA regnes HPL, som UV-C, som stråling, og regnes da som tilsetningsstoff (Koutchma, 2018). HPL er godkjent til bruk på mat under følgende forutsetninger:

« (a) The radiation sources consist of xenon flashlamps designed to emit broadband radiation consisting of wavelengths covering the range of 200 to 1,100 nanometers (nm), and operated so that the pulse duration is no longer than 2 milliseconds (msec);

(b) The treatment is used for surface microorganism control;

(c) Foods treated with pulsed light shall receive the minimum treatment reasonably required to accomplish the intended technical effect; and

(d) The total cumulative treatment shall not exceed 12.0 Joules/square centimeter (J/cm²)»

(CFR - Code of Federal Regulations Title 21, 1996)

Kommentarer fra Næringen: Det er generelt lite erfaring med metoden, men næringen er positiv så lenge regelverket tillater bruken, og det ikke medfører endringer i produktkvalitet.

Fordeler:

- Ingen restforbindelser.
- Ingen dekontamineringskemikalier benyttes.

Ulemper:

- Metoden er ikke standardisert, og det kan derfor være vanskelig å sammenligne resultatene med f.eks. resultater fra UV-C behandling av samme produkt, og optimale pulser og bølgelengder må testes ut før bruk.
- Oksidering av produkt kan skje ved strålingsmengder som trengs for å inaktivere bakterier.
- Alle overflater på produktet må behandles for å ha god virkning på bakterier inkludert *Lm*, noe som kan være vanskelig på produkter med ujevn overflate.
- Høye doser gir økt temperatur og forandrer sensorisk kvalitet.

4.2.3 - Hydrogenperoksid

Prinsipp:

Hydrogenperoksid (H₂O₂) er et sterkt oksidasjonsmiddel som kan brukes til desinfeksjon i flytende- eller

gassform (de Siqueira Oliveira et al., 2018; Jones & Joshi, 2021). Ved bruk av hydrogenperoksid dannes det radikaler som reagerer med membranlipider, DNA og andre cellekomponenter hos bakterier (Glass et al., 2024), noe som blant annet kan føre til økt permeabilitet og ødeleggelse av membraner, og videre at bakterier går i oppløsning (lysis) (Jones & Joshi, 2021; Stearns et al., 2022). H_2O_2 er et lite molekyl som kan krysse cellemembraner, men dette er en sakte prosess, og mange bakterier inkludert *Lm* har utviklet enzymer som reagerer med disse reaktive oksygen forbindelsene, og beskytter mot lave konsentrasjoner (Rea et al., 2005; Sen & Imlay, 2021). Når bakteriene utsettes for høyere konsentrasjoner kan cellemaskineriet overbelastes slik at det blir toksiske konsentrasjoner inne i cellene (Sen & Imlay, 2021).

Om H_2O_2 kombineres med en syre som peredikksyre, bacteriosiner, eller blir brukt sammen med ozon eller UV-C, har det blitt rapportert om høyere effektivitet mot *Lm*, *L. innocua* og andre uønskede mikroorganismer enn om H_2O_2 brukes alene (Bell et al., 1997; Hadjok et al., 2008; Leggett et al., 2016; Martin & Maris, 2012; Stearns et al., 2022; Ukuku et al., 2005). Blant annet har studier undersøkt bruk av peredikksyre (også kjent som peroksyeddiksyre) i kombinasjon med H_2O_2 for dekontaminering av produksjonsoverflater og matvarer med lovende resultater (Briñez et al., 2006; Lee et al., 2016; Leggett et al., 2016; Walsh et al., 2018). Peroksyeddiksyre (PAA) er et organisk peroxid som dannes ved en reaksjon mellom eddiksyre og hydrogenperoksid, og er et godkjent dekontamineringsmiddel med GRAS status på matvarer (konsentrasjoner på 0,005 – 0,2 %) i USA (Stearns et al., 2022). Det eksisterer allerede kommersielle løsninger med varierende konsentrasjoner av PAA/ H_2O_2 på markedet. Videre har kombinasjonen av H_2O_2 og syrer dokumentert god effekt på mange patogene bakterier, inkludert *Lm* (Briñez et al., 2006; Martin & Maris, 2012; Ukuku et al., 2005; Venkitanarayanan et al., 2002). Mange av disse synergieffektene har blitt relatert til dannelsen av frie radikaler, med påfølgende celledød og lysis (Miller, 1969; Raffellini et al., 2008). For eksempel kan hydrogenperoksid tilsatt saltholdige løsninger som sjøvann og saltlaker reagere med klorioner og danne hypokloritt, som er dødelig for bakterier. En studie på bruk av hydrogenperoksid for dekontaminering av *Lm* i saltlaker for produksjon av ost, fant at inaktivering av *Lm* gikk raskere ved høyere saltkonsentrasjoner (Glass et al., 2024). Bruk av H_2O_2 i kombinasjon med UV-C fører til dannelse av reaktive, flyktige hydroksyl-radikaler (Hadjok et al., 2008), og behandlingen av isbergsalat med spray av H_2O_2 i kombinasjon med UV-C har gitt opp til 4-log reduksjon i totalt bakterietall (Hadjok et al., 2008). Optimal effekt av H_2O_2 /UV-C oppnås imidlertid ved temperaturer opp mot 50 °C (Bell et al., 1997; Hadjok et al., 2008), og denne metoden er dermed mindre aktuell til bruk på varmesensitive matvarer.

Den oksiderende virkningen av H_2O_2 vil også ha effekt på organiske molekyler som finnes i produktet. H_2O_2 er anvendt som blekemiddel i mange industrier, inkludert konsumentprodukter for hår- og tannbleking, eller til munnskylling. Den oksiderende effekten har også blitt utnyttet i matproduksjon for å endre farge og tekstur på matvarer, blant annet for bleking av sildefilet (Anderson, 1975), for bleking av karpe for produksjon av surimi (Jafarpour et al., 2008) og Kamaboko (Japansk, kokt surimi) (Shan et al., 2010), eller bleking av torsk- og hysekjøtt til fiskefarse (Himonides et al., 1999). Men, her er det store forskjeller på hva som er lovlig i forskjellige land.

Dokumentert virkning på *L. monocytogenes* og andre mikroorganismer:

Hydrogenperoksid har en lang og omfattende historikk som desinfeksjonsmiddel med dokumentert effekt mot mikroorganismer (Bayliss & Waites, 1979; Krezanoski JZ, 1988; Toledo et al., 1973), blant annet i produksjonsmiljøer hvor tåkelegging med 5% H_2O_2 ut til å ha god effekt mot *Lm* på overflater (McDonnell, 2014; Møretrø et al., 2019), mot biofilmer (Møretrø et al., 2019), og på næringsmidler inkludert fiskefilet (Tarr & Sunderland, 1940).

Flere studier har vist at H_2O_2 gir god hemming av bakterievekst, inkludert *Lm*, på frukt, grønnsaker, bær og sopp (Back et al., 2014; de Siqueira Oliveira et al., 2018; Hadjok et al., 2008; Hasani et al., 2019; Sapers & Sites, 2003; Venkitanarayanan et al., 2002). Blant annet ble *Lm* på salatblader redusert med opptil 3,15 log CFU/g ved bruk av tåkelegging med 10% H_2O_2 (Back et al., 2014). Bruk av hydrogenperoksid mot *Lm* har også vist lovende resultater i osteproduksjon, både på selve osteproduktene og i saltlaker brukt under produksjon (Glass et al., 2024; Robinson & D'Amico, 2021).

Desinfeksjon med H_2O_2 på sjømat er mindre dokumentert, men noen studier har undersøkt antimikrobielle effekter, blant annet på fiskefilet og blekksprut. En studie som undersøkte preservering av filet fra oppdrettet malle med henholdsvis 0,4 og 0,7 % H_2O_2 i 10 minutter, rapporterte 0,47 og 0,92 log CFU/g reduksjon i totalt antall bakterier (T. J. Kim et al., 2000). En annen studie som undersøkte holdbarhetstid på blekksprutprodukter behandlet med det H_2O_2 -holdige tilsetningsstoffet «Cafodos» (Na-citrat + H_2O_2), fant derimot liten effekt på vekst av psykrofile mikroorganismer, og så i tillegg en endring i tekstur og farge på produktet (Manimaran et al., 2016).

Effekter på produktkvalitet:

H_2O_2 er sterkt oksiderende og kan føre til økt fettharskning og bleking av pigmenter. De oksiderende egenskapene til hydrogenperoksid er en av grunnene til at det hovedsakelig har blitt brukt til dekontaminering av produksjonslokaler og utstyr i kjøtt- og fiskebransjen og mindre direkte på matvarer, med unntak av produkter hvor bleking er ønskelig.

Studier av rotter matet med H_2O_2 behandlet kjøtt fra torsk (fersk) og sei (kokt), har vist at selv om H_2O_2 oksiderer aminosyrer som methionine og cystine i fiskeproteiner, endres ikke aminosyretilgjengeligheten (Raksakulthai et al., 1983; Sjöberg & Boström, 1977). En annen studie hvor fersk fillet av malle ble behandlet med 0,4 og 0,7 % H_2O_2 i 10 minutter fant ingen signifikant endring i utseende sammenlignet med kontrollen, og produktet hadde også noe lenger holdbarhet (1,5-3 dager), men også høyere TBARs verdier (T. J. Kim et al., 2000).

Det er ikke god dokumentasjon knyttet til effekt på produktkvalitet ved bruk av H_2O_2 mot *Lm* eller andre mikroorganismer på laks og andre fete fiskeprodukter, noe som bør undersøkes før eventuell kommersiell bruk. Nylig ble effektiviteten av H_2O_2 på *L. innocua* på atlantisk laks undersøkt i en masteroppgave fra NTNU, knyttet til DekoLaks prosjektet (Kristiansen, 2024). Det ble benyttet konsentrasjoner på 0,1%, 0,5% og 1%, og eksponeringstider på 1 og 30 minutter. Kvalitetsvurderingene inkluderte farge- og lipidinnholdsanalyse for å overvåke sensoriske endringer. Funnene viste at 0,5% konsentrasjon av hydrogenperoksid i 30 minutter var den mest effektive og gav liten innvirkning på fiskens visuelle kvalitet og ikke signifikante effekter på lipider.

Regelverk:

EU og Norge: Hydrogenperoksid har blitt evaluert som et biocid, og står på European Chemicals Agency (ECHA)'s liste over godkjente kjemikalier (Artikkel 95, PT05 Drinking water og PT04 Food and Feed area). I tillegg til EU reguleringen, finnes nasjonale retningslinjer i de individuelle EU/EØS medlemslandene (European Chemicals Agency, 2014).

Norge følger Forordning (EU) 2015/1730 som godkjenner hydrogenperoksid som et aktivt stoff til bruk i biocidprodukter i produkttype 1, 2, 3, 4, 5 og 6, hvor produkttype 4 (PT04) omfatter overflater som kommer i

kontakt med næringsmidler og fôrvarer, og produkttype 5 (PT05) omfatter drikkevann. I henhold til Forordning (EU) 2015/1730, den Norske Drikkevannsforskriften (Lovdata, 2016; Mattilsynet, 2023) og Forskrift om biocider (Miljødirektoratet, 2023) er det med noen forbehold tillatt å bruke hydrogenperoksid som et biocid i drikkevann og for desinfisering av matproduksjonslokaler. Samme regelverk gjelder for PT04, men det spesifiseres i tillegg at produktet ikke skal inkorporeres i materialer eller artikler som vil komme i kontakt med mat (EC 1935/2004) med mindre det er vedtatt spesifikke migrasjonsgrenser eller er fastsatt at slike grenser ikke er nødvendig. Dette medfører at det må søkes om nasjonal produktgodkjenning for biocidprodukter som inneholder det aktive stoffet.

Hydrogenperoksid er i EU ikke et tillatt tilsetningsstoff i matvarer, og er dermed ikke tillatt brukt som tilsetningsstoff i henhold til (EF) NR. 1333/2008. Avhengig av bruk kan H_2O_2 derimot defineres som et «teknisk hjelpestoff», og vil da være lovlig å bruke i henhold til Artikkel 3.2 (b) i forordning (EF) nr. 1333/2008, som sier:

« I denne forordningen menes videre med: b) «teknisk hjelpestoff» ethvert stoff som:

- i. Ikke inntas som et næringsmiddel i seg selv
- ii. Med hensikt brukes ved bearbeiding av råvarer, næringsmidler eller ingredienser i disse, for å oppfylle et bestemt teknisk formål under behandling eller bearbeiding, og
- iii. Kan resultere i en utilsiktet eller teknisk uunngåelig forekomst av restmengder av stoffet eller dets derivater i sluttproduktet, forutsatt at restmengdene ikke utgjør noen helserisiko eller virker teknisk inn på sluttproduktet,»

To eksempler fra Italia og Spania indikerer også at medlemsland kan innføre nasjonale regler for bruk i henhold til Artikkel 3.2 (b) i forordning (EF) nr. 1333/2008, så lenge sikkerhet for forbruker/konsument kan dokumenteres.

Eksempel 1: Det Spanske mattilsynet (AESAN) utredet i 2011 bruk av hydrogenperoksid med konsentrasjoner på inntil 0,05% som et bakteriostatisk «teknisk hjelpestoff» («processing aid» i henhold til Forordning (EC) No 1333/2008, Article 3.2(b)) for bruk på blekksprut-produkter (Cepeda Sáez et al., 2011). Rapporten konkluderte med at bruk av hydrogenperoksid som et teknisk hjelpestoff i disse konsentrasjonene ikke etterlot påvisbare rester på produktet, og ikke medførte en risiko for konsumenter, men at produsenter bør kontrollere eventuelle reststoffer kvalitativt og kvantitativt. Spanske myndigheter har derfor inkludert en klausul i regelverket som tillater vask av blekksprut-produkter med opp til 0,05% hydrogenperoksid i inntil 24 timer for å hemme bakterievekst (Real Decreto 773/2023, de 3 de Octubre, Por El Que Se Regulan Los Tecnológicos Utilizados En Los Procesos de Elaboración Y de Alimentos, 2023).

Eksempel 2: I 2010 forbød Italia bruk av hydrogenperoksid i behandlingen av bløtdyr i henhold til Forordning (EC) No 1333/2008. Det Italienske mattilsynet (ALS) og helsedepartementet (Ministerio della Salute) diskuterte saken med det Spanske mattilsynet (AESAN), som på bakgrunn av AESANs undersøkelser (Cepeda Sáez et al., 2011) mente behandlingen var trygg ved bruk av H_2O_2 i konsentrasjoner under 8 % (Ministero della Salute, 2016), og det Italienske helsedepartementet stilte seg derfor positive til vask av sjømat med vann inneholdende inntil 8 % hydrogenperoksid (*Autorizzazione Ministeriale: Utilizzo Di Una Miscela Contenente Presidio d'idrogeno per La Lavorazione Dei Molluschi Cefalopodi - Associazione Nazionale Delle Aziende Ittiche*, n.d.; Ministero della Salute, 2016). I februar 2016, gjeninnførte det italienske helsedepartementet derfor bruken, ikke som et tilsetningsstoff, men som et teknisk hjelpestoff under bearbeiding av blekksprut-produkter. Saken ble videre tatt opp i EU (European Parliament, 2016a, 2016b, 2017), hvor bekymringsmeldingen ikke var knyttet til helsefare for konsumenter som følge av hydrogenperoksid i seg selv, men var relatert til vanskeligheten med å

bedømme hvor ferske H₂O₂ -behandlede produkter er (noe som kan medføre en helserisiko for enkelte typer produkter), og det ble lagt ned en påstand om at bading av produkter derfor bør regnes som matsvindel. EU parlamentet svarte følgende:

« The Commission is not planning to conduct any survey within the Member States in order to check which countries are using hydrogen peroxide to process fish and cephalopods. The Italian authorities have informed that hydrogen peroxide is used, under strict conditions, and after the authorisation of the Italian Istituto Superiore di Sanità, as a processing aid for the evisceration and removal of pigmented skin of cephalopods and not as an additive. Processing aids fall out of the scope of the food additives legislation and do not, therefore, need to be labelled.

(https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-8-2017-001477-ASW_EN.html)»

Etter 2017 er det vanskelig å finne informasjon om hvor vanlig det er å bruke hydrogenperoksid som et prosesseringsmiddel i Italia.

I **USA** har hydrogenperoksid til bruk på matvarer GRAS (Generally Accepted as Safe) godkjenning, hvor det er tillatt å bruke lave konsentrasjoner (0,04 - 0,15%) som et biocid («*antimicrobial agent*») i forskjellige typer matvarer som blant annet melk til osteproduksjon, stivelse og tørkede egg (FDA, 2016, 2023b). Det er videre tillatt å bruke høyere konsentrasjoner hydrogenperoksid, «*amount sufficient for the purpose*», på matvarer om formålet er å oksidere eller bleke produktet (FDA, 2016, 2023b), og H₂O₂ har blant annet blitt brukt for bleking av marinert sild (Anderson, 1975). Høyere konsentrasjoner er også tillatt som desinfeksjon på jorder under dyrking av matvarer (Stearns et al., 2022). Bruken av hydrogenperoksid på matvarer og til desinfeksjon under matproduksjon forutsetter at rester av hydrogenperoksid fjernes eller omdannes til oksygen og vann før produktene spises.

Canada tillater anvendelse av produkter som inneholder hydrogenperoksid på tomater i drivhus, så lenge avrenning kontrolleres slik at H₂O₂ ikke ender opp i vann hvor det kan skade vannlevende dyr (Re-Evaluation Decision Hydrogen Peroxide and Its Associated End-Use Products, 2018).

Japan: Den Japanske mattrygghetskomiteen utredet i 2016 bruk av hydrogenperoksid som et tilsetningsmiddel til mat, og konkluderte med at et inntak på 0,105 mg per person per dag ikke utgjorde en helsefare (Food Safety Commission of Japan, 2016).

I **Australia** og **New Zealand** er H₂O₂ konsentrasjoner inntil 5 mg/kg tillatt brukt som et prosesseringsmiddel i «pakket» vann (flaskevann), og for bleking, vasking og «peeling» av alle typer matvarer (*Food Standards Australia New Zealand Act 1991*).

Kommentarer fra Næringen:

Kommersielle produkter som inneholder H₂O₂ (f.eks. Oxyl-pro) er i bruk for desinfisering av vann på enkelte bløggébåter, hovedsakelig for å få ned kimtall før fisken legges i tankene. Konsentrasjonene som brukes er godkjent i henhold til Forordning (EU) 2015/1730, og står på European chemicals agency (ECHA)'s liste over godkjente kjemikalier (Artikkel 95, PT05 Drinking water og PT04 Food and Feed area).

En av næringsaktørene opplyste at H₂O₂ tidligere ble brukt for desinfisering av vann, men det ble faset ut av hensyn til personellet. Det ble i tillegg opplyst at H₂O₂ dannet mye uønsket skum i tankene.

Fordeler:

- Reaksjonsproduktene av H_2O_2 er oksygen og vann.
- H_2O_2 er godt kjent og har lang tradisjon for desinfeksjon innen medisin og har historisk sett blitt brukt i store kvanta til behandling av fisk mot lakselus.
- Flere produkter der H_2O_2 inngår er godkjent i Norge for bruk til desinfeksjon av overflater i næringsmiddelindustrien.
- H_2O_2 er allerede i bruk til desinfeksjon av matvarer i mange land utenfor EU, og selv om det ikke er tillatt brukt i EU, har det blitt gitt dispensasjon i enkelte land til bruk av lave konsentrasjoner om det finnes god dokumentasjon på at det ikke medfører helsefare ved konsum av produktene.

Ulemper:

- Mulighet for oksidasjon og fettharskning, og fare for bleking av pigmenter i produktene.
- Flere studier rapporterer bedre effekt av H_2O_2 i kombinasjon med andre dekontamineringsmetoder som UV-C eller syrer (Hadjok et al., 2008; Venkitanarayanan et al., 2002), og det kan derfor være nødvendig å kombinere H_2O_2 med andre behandlinger for å få optimale resultater.
- Det har blitt rapportert at H_2O_2 kan reagere med metall i ståltanker og miste noe av effektiviteten over tid (Sapers & Sites, 2003). Ved bruk bør dette tas med i betraktning.

4.2.4 - Ozon

Prinsipp:

Ozon, O_3 , er en naturlig tilstedeværende, ustabil gass som kan reagere med og oksidere andre stoffer, inkludert organiske molekyler (Hoigné & Bader, 1975). Luft består av rundt 20% oksygenatomer, i hovedsak i forma av O_2 , men en liten andel finnes som ozon, molekyler med tre oksygenatomer, O_3 . Ozon er svakt blålig, og har en stikkende lukt ved høyere konsentrasjoner. I de øvre lagene av atmosfæren produseres ozon kontinuerlig når UV-stråler fra solen treffer oksygenmolekyler, og det finnes naturlig ved bakkenivå i lave konsentrasjoner (J. G. Kim et al., 1999). Ozon kan produseres i store mengder industrielt ved å la tørr luft passere gjennom et elektrisk felt med høy nok spenning til å spalte oksygenmolekyler, hvorpå de spaltede atomene binder andre oksygenmolekyler og danner O_3 (J. G. Kim et al., 1999). Ozon kan bobles gjennom vann som siden kan brukes i flytende form eller bli fryst til is, som videre kan bli brukt til lagring av produkter.

Ozon kan enten reagere direkte med andre molekyler (f.eks. cellevegger hos bakterier), eller bli brutt ned til radikaler (OH , HO_2 , O_2^-) som så fungerer som den aktive komponenten (Hoigné & Bader, 1975; J. G. Kim et al., 1999). Flere mekanismer for den antimikrobielle egenskapen til ozon har blitt diskutert, blant annet at det kan reagere med lipoproteiner og gjør celledmembranen mer permeabel, degradere proteiner, og føre til skader på DNA (Kim et al., 1999, og studier referert der).

Dokumentert virkning på *L. monocytogenes* og andre mikroorganismer:

Ozonbehandling av sjøvann er dokumentert effektivt mot bakterier i vannet, spesielt om det er lavt innhold av annet organisk materiale til stede (Sørensen et al., 2002). Den bakteriedrepende effekten av ozon har også lenge vært kjent og er godt dokumentert til bruk på matvarer (J. G. Kim et al., 1999; Pandiselvam et al., 2022; Zhao et al., 2018), blant annet kyllingkjøtt (Mercoglian, 2014), reker (Okpala, 2014; Okpala et al., 2016), og hvitfisk (Giannoglou et al., 2021).

Spraying av laksefileter med ozonert vann med en konsentrasjon på 1,5 mg/L før videre kjølelagring er vist å ha effekt på generelt kimtall og antall *Listeria* spp. til stede i produktet, med 0,5 log lavere bakteriemengder i behandlede produkter enn i ubehandlede kontroller etter ti dagers lagring ved 4 °C (Crowe et al., 2012).

Effekt på produktkvalitet:

Ozon er sterkt oksiderende og vil kunne gi økt fettharskning. Det er lite litteratur på ozonbehandling av sjømat, men tilgjengelige studier viser varierende effekt av ozon på sensoriske egenskaper (Pandiselvam et al., 2022; Sørensen et al., 2002; Zhao et al., 2018). En undersøkelse gjort på hel sild lagret i RSW (refrigerated sea water) med ozon fant blant annet økt harskning og bleiking, selv om forskjellene på behandlet og ubehandlet sild ikke var stor, og effekten mot mikroorganismer var god (Sørensen et al., 2002). Andre studier har derimot ikke funnet uakseptable endringer i sensorikk, inkludert hel laks i utblødningskar med ozon (Holm et al., 2003), på laksefilet sprayet med ozon (Crowe et al., 2012), eller på reker vasket med ozon og deretter lagret på is (Pandiselvam et al., 2022; Zhao et al., 2018).

Regelverk:

Ozonert vann er omtalt brukt til rensing av skalldyr siden 1920-tallet, til rensing av bassengvann siden 1940-tallet og til reduksjon av generelt smittepress i fiskeoppdrett eller i akvarier siden 1970.

EU og Norge: I EU er ozon så langt tillatt brukt til behandling av mineralvann, samt for enkelte typer korn for å oksidere soppgifter (mykotoksiner). I Norge er ozon godkjent til bruk som teknisk desinfeksjonsmiddel for rengjøring av overflater i fiskeindustrien og til desinfeksjon av brønner og rør på brønnbåter. Dette inkluderer flere kommersielle produkter som for eksempel Redoxzon og Normex.

EU kommisjonens gjennomføringsforordning (EU) 2023/1078 av 2. juni 2023 godkjenner ozon generert fra oksygen som et aktivt stoff til bruk i biocidprodukter av type 2, 4, 5 og 11 i samsvar med europaparlaments- og rådsforordning (EU) No 528/2012, hvor produkttype 4 omfatter overflater som kommer i kontakt med næringsmidler og fôrvarer, produkttype 5 omfatter drikkevann, og produkttype 11 omfatter konserveringsmidler for væsker i kjøle- og prosesssystemer. Dette medfører at det må søkes om nasjonal produktgodkjenning for biocidprodukter som inneholder det aktive stoffet.

Som hydrogenperoksid er ozon i EU ikke et tillatt tilsetningsstoff i matvarer

(https://food.ec.europa.eu/safety/food-improvement-agents/additives_en), men avhengig av bruk kan det derimot defineres som et «teknisk hjelpestoff», og vil da være lovlig å bruke i henhold til Artikkel 3.2 (b) i Forordning (EC) No 1333/2008. EU tillater bruk av ozonert drikkevann for dekontaminering i kjøttproduksjon i henhold til Forordning (EC) No 853/2004 (Mercoglian, 2014), og i Polen brukes ozonert vann (konsentrasjoner følger drikkevannsforskriften) som et teknisk hjelpemiddel til skylling av lakseprodukter uten at det medfører

merkekrav, fordi eventuelle rester av ozon raskt omdannes til oksygen (*pers. kom.*).

USA: Bruk av ozon i direkte kontakt med næringsmidler, inkludert sjømat, er godkjent av US Food and Drug Administration, U.S. Department of Agriculture (FDA, 2023a).

I **Japan** er ozon tillatt som et tilsetningsmiddel i henhold til *Article 12 of the Enforcement Regulations under the Food Sanitation Law* (<https://www.ffcr.or.jp/en/tenka/list-of-designated-additives/list-of-designated-additives.html>).

I **Canada** kan ozon brukes på overflater som er i kontakt med mat, men ikke direkte på matvarer (Gonçalves Alex Augusto, 2019).

Kommentarer fra Næringen:

Ozon for dekontaminering er i bruk på videreforedlingsanlegg i Polen hvor ozonert vann (konsentrasjoner følger drikkevannsforskriften) brukes for å skylle lakseprodukter. Det er rapportert å fungere bra, men det har ikke blitt gjort studier for å sammenligne produkter med og uten behandling for å bedømme hvor god effekten faktisk er. Bruken av ozonert vann i Polen medfører ikke merkekrav. Siden O₃ er svært reaktivt, kan det virke ødeleggende på utstyr, særlig pakninger.

Fordeler:

- Forholdsvis enkel teknologi og ozongeneratorer som tilpasses den enkelte bedrift er tilgjengelige.
- Ingen rester av ozon på produktet.
- Ozonert vann medfører ikke merkekrav.

Ulemper:

- Det er kjent at ozon-eksponering hos mennesker kan gi betennelse og føre til skader i luftveiene, samt svekke luftveisfunksjon og øke luftveisplager. Det er etablert grenseverdier for nivået av ozon i luft. Disse er 100 µg/m³ i 1 time eller 80 µg/m³ i 8 timer (Mercogliano, 2014; *Ozon - FHI*, 2019).
- Dersom ozonert sjøvann blir brukt, er det knyttet bekymring til om uheldige komponenter som brominer kan bli dannet.
- Ozon er sterkt oksiderende og kan føre til harskning på produktet og ødeleggelse av produksjonsutstyr, spesielt pakninger.

4.2.5 - Kald plasma

Andre navn som brukes: *Ikke-termal plasma*, *Nonthermal plasma* (NTP), *Atmospheric cold plasma* (ACP), *Cold plasma* (CP), *Atmospheric pressure non-thermal plasma* (APNTP), *one atmosphere uniform glow discharge plasma* (OAUGDP). Her brukes *kald plasma* og *plasmaaktivert vann* for å unngå forvirring.

Prinsipp:

Kald plasma dannes ved lave temperaturer når en gass med nøytral ladning utsettes for en energikilde og ioniseres. Gassene kan være vanlig luft eller konsentrerte gasser som edelgasser (He, Ar, Ne). Gassen blir helt eller delvis ionisert slik at den inneholder en kombinasjon av frie elektroner og ioner i eksitert eller grunntilstand (Lacombe et al., 2015; Misra et al., 2011). Energikilden er ofte elektrisitet, men kan også være for eksempel mikrobølger. De ioniserte forbindelsene som dannes er avhengig av opprinnelsesgassen, og om plasmaen kommer i kontakt med luft eller vann etter dannelse, og forskjellige kombinasjoner av gasser og energikilder kan derfor gi opphav til en rekke forskjellige plasmasystemer (Niemira, 2012). Det er lettere å produsere plasma med edelgasser (eller edelgasser tilsatt oksygen) fordi det kreves lavere spenning for selve nedbrytningen enn det gjør for nedbrytning av luft, men det er også dyrere å benytte edelgasser fordi disse er dyre, og en minkende ressurs globalt.

Når plasma dannes starter en kjedereaksjon når den ioniserte gassen treffer luft, hvor luften som eksponeres for plasma også blir ionisert, og det dannes nye reaktive forbindelsene av oksygen eller nitrogen, som bl.a. OH, NO*, hydrogenperoksid og hydroxylradikaler (Mai-Prochnow et al., 2021; Mehta & Yadav, 2022). Om plasma treffer vann eller et fast materiale kan man i interfasen få en translokasjon av de reaktive forbindelsene fra den ioniserte gassen inn i væsken eller det faste materialet, hvor penetreringsdybden avhenger av materialet, og det dannes mer stabile reaktive forbindelsene enn i en gass (Xiang et al., 2022).

Mekanismene involvert når kald plasma inaktiverer eller dreper bakterieceller og andre patogener eller bryter ned biofilm ser ut til å være avhengig av typen patogen og hvilken type plasmasystem som benyttes (Feizollahi et al., 2021). Generelt vil de reaktive forbindelsene i plasmaet interagere med celleveggen hos mikroorganismer og forstyrre bevegelse av biomolekyler over membraner, og bryte ned fettsyrer. Dette fører videre til økt oksidativt stress og forstyrrelse av normale cellulære prosesser (Kumar et al., 2022; Nwabor et al., 2022). Enzymer og DNA, samt DNA replikasjon kan også bli påvirket, og den samlede effekten av flere faktorer som påvirker cellene reduserer dermed sannsynligheten for utvikling av resistens hos bakteriene (Alkawareek et al., 2014; Mai-Prochnow et al., 2021).

Kald plasma reaktive forbindelsene kan også trenge inn i biofilm og deaktivere eller drepe bakterieceller som er til stede der (Abramzon et al., 2006; Mai-Prochnow et al., 2021; Xiong et al., 2011), og i tillegg destabilisere og bryte ned selve biofilmen (Handorf et al., 2021; Trevisani et al., 2017). Dette skjer ved at de reaktive forbindelsene til stede i plasma bryter ned bindingene som holder biofilmen sammen og gjør den mindre motstandsdyktig mot ekstern påvirkning fra kjemikalier eller fysisk påkjenning som for eksempel skrubbing (Ziuzina et al., 2015). En kombinasjon av kald plasma etterfulgt av for eksempel et kjemisk dekontamineringsmiddel som dreper overlevende celler som ikke lenger er beskyttet av en biofilm har derfor et ekstra potensiale til å redusere mengden *Lm* både på fisk og på overflater.

Dokumentert virkning på *L. monocytogenes* og andre mikroorganismer:

Kald plasma og plasma-aktivert vann har dokumentert deaktivering av *Lm* og *Lm* biofilmer på overflater og på forskjellige typer matvarer, men det er forskjeller avhengig av teknologien som er brukt, og om det brukes i kombinasjon med andre dekontamineringsstrategier (se Tabell 3 for eksempler). Lerouge et al. (2000) fant at sammensetningen av bæregassen (O₂, Ar, CO₂, osv.) kan påvirke deaktiveringen av *B. subtilis* endosporer. Ermolaeva et al. (2011) og Laroussi et al. (2003) fant at kald plasma var mer effektivt mot gram-negative bakterier (*Pseudomonas aeruginosa*, *Burkholderia cenocepacia*, *E. coli*) enn gram-positive bakterier

(*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Enterococcus faecium*, *B. subtilis*), og spekulerte i om dette var relatert til den mer robuste celleveggen til gram-positive bakterier (Laroussi et al., 2003). Det ble også funnet større spredning i plasmaresistens hos gram-positive enn hos gram-negative bakterier, og tykkere biofilmer beskyttet bakteriene mer enn tynne (Ermolaeva et al., 2011). Critzer et al., (2007) på den andre siden, fant ingen signifikante forskjeller på gram-positive (*Lm*) og gram-negative (*Salmonella* og *E. coli*) bakterier i en studie som undersøkte effekten av plasmainaktivering på frukt og salat, og oppnådde > 3-log reduksjon av begge. Det må tas i betraktning at studiene brukte forskjellige plasma-teknologier og matriser for bakterievekst; «non-thermal argon plasma flow» på bakteriekolonier på blodagarskåler, biofilmer på dekkglass, eller på bakterier inokulert i sår på levende rotter (Ermolaeva et al., 2011), «resistive barrier discharge» på bakterier filtrert på polyester filtre (Laroussi et al., 2003), og «one atmosphere uniform glow discharge plasma» på frukt- og salatoverflater inokulert med bakterier (Critzer et al., 2007). Det er derfor vanskelig å sammenligne disse resultatene med hverandre og med lignende studier.

Plasmaaktivert vann er effektivt mot planktoniske bakterier (Zhao et al., 2020), har blitt vurdert brukt blant annet i forbindelse med rensing av drikkevann (Nguyen et al., 2020), og kan brukes for å desinfisere mat ved å bade eller skylle produkter med det aktiverte vannet. En studie som undersøkte effekten på mikrobiota og produktkvalitet av å tine frossen kylling i plasmaaktivert vann, fant at det reduserte antall bakterier, men det ble også observert endringer i proteinstrukturen til kyllingmuskelen (Qian et al., 2022). En annen studie undersøkte om dynking av fersk havabbor fillet i plasmaaktivert vann tilsatt H₂O₂ (100ppm) påvirket lagringstiden til produktet, og fant at mikrobiell vekst ble hemmet med opptil 15 dager mer enn i kontrollen (Chaijan et al., 2021). Samme studie fant imidlertid også økt proteinoksidasjon og noe endring i farge på produktet, så selv om metoden er lovende for å forlenge lagringstiden kan den føre til noen sensoriske endringer på produktet (Chaijan et al., 2021). Som for mange av de andre metodene kan skyggeeffekten hindre effektiv deaktivering av bakterier i plasmaaktivert vann om vannet inneholder store mengder partikler, fordi partiklene vil reagere med de reaktive forbindelsene slik at effekten blir mindre på bakterier og biofilmer (Mai-Prochnow et al., 2021).

P lasmaaktivert vann har også blitt vist å signifikant deaktivere *Lm* celler i biofilm (Handorf et al., 2021), men generelt virker *Lm* å være mer resistent mot denne behandlingen enn andre bakterier (Jyung et al., 2022). Effekten av plasmaaktivert vann på *Lm* og andre mikroorganismer øker imidlertid om det kombineres bruk av organiske syrer, spesielt god effekt ble observert med bruk av melkesyre (Jyung et al., 2023; Qian et al., 2021).

Tabell 3: Utvalgte studier som tar for seg effekt av kald plasma på *L. monocytogenes* aller endringer i kvalitet på relevante produkter.

Testorganisme	Kombinert med annen teknologi	Matrix	Plasmateknologi	Bakteriereduksjon	Endringer i produktkvalitet	Referanse
<i>L. monocytogenes</i> , <i>L. innocua</i> , <i>S. Typhimurium</i> , <i>S. Enteritidis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Plesiomonas shigelloides</i>	Alene (for kombinasjon med UV-C, se tidligere avsnitt)	Røkt laks	Plasma jet (lab-scale), gass flow rate 10l/min, 2kV mellom elektroder, 1s - 15min	0,6 – 1,2 log cycle inaktivering (beregnete overlevelseskurver)	Ingen effekt ved kort eksponering, gulning av produkt ved lengre eksponering, økt TBARS ved økt eksponering (ikke over grenseverdier)	Colejo et al., 2018
<i>L. monocytogenes</i>	Nisin	Epler	Plasma jet 30/40s + nisin 180s/3600s	2,5/4,6 log cfu/g inaktivering av <i>Lm</i>	-	Ukuku et al., 2019

<i>Pseudomonas</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> , LAB, aerobe mesofile, aerobe psychrotrofe	Plasma generert inne i ferdig pakke produkter	Atlantisk sild	Dielectric barrier discharge, 70- 80kV i 5min	Etter 11 dagers lagring: signifikant lavere bakteriemengde i behandlede produkter enn i kontroll	Liten endring i sensorikk v/lav volt, fargeendring relatert til H ₂ O ₂ ved høyere volt	Albertos et al., 2019
<i>L. monocytogenes</i>	Organiske syrer	<i>Lm</i> inokulert direkte i PAW	Plasmaaktivert vann (25°C), "coaxial barrier discharge", 4,5 kV, 20 kHz, gas flow 1,35 L/min	0,84 log CFU/mL reduksjon	-	Jyung et al., 2023
		<i>Lm</i> inokulert direkte i PAW m/0,5% syre	Plasmaaktivert vann (25°C), "coaxial barrier discharge", 4,5 kV, 20 kHz, gas flow 1,35 L/min	0,34 – 2,49 log CFU/mL reduksjon	-	
Psykrotrofe aerobe, LAB, <i>Pseudomonas</i>		Rå makrell	Plasmaaktivert is (4°C), med eller uten syre	PAW-is: 0,44 log reduksjon. PAW-is m/1% melkesyre: 4,53 log reduksjon	Ingen signifikant økning i TVBN	
Lagringsstudie for kvalitet, ingen mikrobielle parametre målt	Plasma generert inne i ferdig pakke produkter	Fersk makrell	Dielectric barrier discharge, 80kV i 5min	-	Ikke økt lipidoksidasjon (TBARS), endring i fettsyrer eller endring i "nutritional indices" sammenlignet med kontroll. Noe proteinoksidasjon observert (økt karbonylinnhold)	Pérez- Andrés et al., 2020
Kimtall psykrofile, <i>Pseudomonas</i> spp.		Asian sea bass	PAW dannet av O ₂ og argon med vakuumering	Mikrobiell vekst under 7 log CFU/g i 25 dager, kontroll over 7 log CFU/g etter 10 dager.	PAW forbedret lipidstabilitet, men førte til økt protein oksidasjon og noe fargeendring	Panpipat & Chaijan, 2020

Effekt på produktkvalitet:

Kald plasma kan påvirke sensorikk og produktkvalitet på forskjellige matvarer (Tabell 3, Olatunde et al., 2021). Nivåer av lipid-oksidasjon som følge av plasma-behandling varierer mellom forskjellige studier, og det er uklart om det skyldes forskjeller i plasma-teknologien som er brukt, kombinasjon av plasma med andre dekontamineringsstrategier, eller selve produktet som undersøkes.

Forsøk utført av Albertos et al., (2017, 2019) indikerte at kald plasmabehandling av makrell og sild førte til en nedgang i vannmengden bundet til proteiner. Videre kan kald plasmabehandling føre til økt dannelse av karbonyler, som er en indikasjon på proteinoksidasjon (Pérez-Andrés et al., 2020), og økt proteinfragmentering (Panpipat & Chaijan, 2020). Ekezie et al., (2019) fant at endringer i proteinstrukturene i reker økte med økt plasma-eksponering i form av «atmospheric pressure plasma jet», sannsynligvis som en følge av økt protein-aggregering og protein-protein interaksjoner.

En studie gjort på pakket makrell behandlet med plasma (DBD, 80kV 5min), fant ingen indikasjoner på lipid-oksidasjon, og heller ikke negative effekter på fettsyresammensetning eller næringsinnhold (Pérez-Andrés et al.,

2020), mens en annen studie på pakket makrell derimot viste en signifikant økning i lipid-oksidasjon (Albertos et al., 2017). Videre fant en studie på filet av havkaruss (*Sparus aurata*) høyere nivåer av oksidasjon ved bruk av kald plasma enn ved andre behandlinger, inkludert ozon-behandling, høyt-trykk og pulsed electromagnetic field (Giannoglou et al., 2021). Enkelte studier har indikert mindre oksidasjon om kald plasma kombineres med en antioksidant som for eksempel askorbinsyre (Olatunde et al., 2019), eller andre tilsetningsstoffer som plante-ekstrakter (Shiekh & Benjakul, 2020).

Regelverk:

Norge/EU: Det er foreløpig ikke et gjeldende regelverk i EU eller Norge som regulerer bruken av kald plasma i matproduksjon og videreforedling.

Ettersom kald plasma kan inneholde oksygen- og nitrogenforbindelser ioner og ladde partikler (Misra et al., 2011), er det også usikkert hvilket lovverk det faller inn under, eller om et helt nytt lovverk må opprettes (Niemira, 2019). I en kommentar om stråling av mat (van der Meulen & Ruggiero, 2018) påpeker forfatterne at Direktivet 1999/2/EC ikke spesifiserer om reglementet kun gjelder ionisering via radioaktivitet, eller om all ionisering uansett kilde er inkludert, og at dette potensielt kan føre til problemer for ny teknologi som kald plasma.

Mest sannsynlig vil bruk av kald plasma på matvarer falle inn under *Forskrift om ny mat* (EU) 2015/2283, blant annet har det Irske mattilsynet klassifisert kald (atmosfærisk) plasma under denne forskriften (Food Safety Authority of Ireland, 2020). Forskrift (EU) 2015/2283 omfatter matprodukter som aldri har vært laget før, eller som er laget på nye måter, og må da ha EUs «Novel food» - godkjenning for å kunne omsettes på det europeiske matvaremarkedet. En tilsvarende «ny mat»-forskrift som følger EUs lovgivning er gjeldende i Norge (FOR-2017-07-25-1215).

Det er videre en mulighet for at bruk av kald-plasma faller inn under forordning (EU) 1333/2008 om tilsetningsstoffer om restmengder av nitrogen forbindelsene eller oksygen forbindelsene er høy, eller blir definert som et «teknisk hjelpestoff» i henhold til Artikkel 3.2 (b) i samme forordning om det er ikke-påvisbare mengder reststoff til stede i det ferdige produktet.

USA: Kald plasma er foreløpig ikke godkjent av *US Food and Drug Administration*, som avventer flere studier på hvordan kald plasma påvirker matvarene som blir behandlet.

(<https://knowablemagazine.org/article/technology/2018/scientists-look-new-technologies-make-food-safer>)

Resten av verden: Det er per i dag lite informasjon tilgjengelig om godkjenningsstatusen i andre land.

Kommentarer fra Næringen: Ingen erfaring med bruk av metoden på lakseprodukter. Det er en generelt positiv innstilling, så lenge regelverket tillater bruken, og det ikke medfører endringer i produktkvaliteten.

Fordeler:

- Generering av kald plasma krever atmosfærisk til lavt trykk, noe som innebærer lite energi når systemet først er oppe og går.
- Dokumentert effektivt på en rekke bakterier, inkludert *Lm*.
- Anti-biofilm egenskapene er lovende også for dekontaminering av utstyr inne på anleggene.

- Det dannes lite eller ingen kjemikalierester.

Ulemper:

- Potensielt store startkostnader.
- Kan føre til oksidasjon av proteiner og lipider.
- Dersom ozon dannes i prosessen og det blir brukt i sjøvann, kan brominer bli et problem.
- Usikkerhet rundt lovverket både i Norge/EU, USA og Asia.

4.2.6 - Ultralyd

Prinsipp:

Ultralyd er definert som lydbølger med en frekvens over 20kHz, og som dermed ikke kan høres av mennesker. Metoden regnes som ikke-termal og det deles inn i to typer ultralyd; 1) lavfrekvent (20-100kHz) høyeffekts ($>1\text{W}/\text{cm}^2$) ultralyd, og høyfrekvent ($> 100\text{ kHz}$) laveffekts ($<1\text{W}/\text{cm}^2$) ultralyd. Forholdet mellom intensitet og frekvens er omvendt proporsjonalt (Bariya et al., 2023). Ultralydbølger skaper kavitasjon i produktet, små gassbobler som øker i størrelse på grunn av vekselvis høyt og lavt trykk. Når boblene klapper sammen (imploderer), skapes det sjokkbølge som kan ødelegge enzymer, cellevegger og DNA (Bahrami et al., 2020). Ultralyd med høy effekt er den det er vanligst å bruke i næringsmiddelindustri, og brukes for en rekke matvarer, blant annet for sterilisering av juice, melkeprodukter, kjøttprodukter og alkoholholdig drikke (Khaire et al., 2022). Ultralyd kan også skape frie radikaler og dermed også påvirke produktet negativt ved å endre smak, lukt og tekstur. En må derfor velge intensitet som gir best forhold mellom god dekontaminering og lite påvirkning av produktet (Beitia et al., 2023).

Dokumentert virkning:

Ultralyd har vist å være mer effektiv mot gram positive stavbakterier fordi de mangler yttermembran og har større overflate (Beitia et al., 2023). En rekke publikasjoner på *Listeria* spp. i ulike matvarer rapporterer likevel variabel effekt av ultralyd alene (Bahrami et al., 2020; Zhao et al., 2021). Mange av disse nevner at ultralyd er mest effektiv dersom brukt sammen med andre dekontamineringsmetoder, og termosonikering som kombinerer ultralyd og varme (Onyeaka et al., 2023), men også kombinasjon med UV eller andre tilsetningsstoffer (pereddiksyre, sinkoksid) har vist seg å være effektive. Ultralyd viser størst potensiale for dekontaminering av flytende matvarer og økt produktfasthet begrenser effektiviteten eller reduserer produktkvaliteten (Beitia et al., 2023). Det er derfor få studier hvor ultralyd tas i bruk for dekontaminering av fisk. En studie av *Lm* på overflaten av fersk laks fant at ultralyd i kombinasjon med UV eksponering kunne gi god effekt, men viser seg å påvirke lukt og smak, men ikke fasthet i muskulaturen (Mikš-Krajnc et al., 2017). En annet studie med fersk laks fant størst reduksjon i *Lm* konsentrasjoner ved 5 min ultralydbehandling kombinert med oppvarming til 50 °C (Pennisi et al., 2020). I en studie av *L. innocua* i makrellfileter viste ultralyd kun effekt i kombinasjon med pereddiksyre (Zhao et al 2023).

Regelverk:

I **EU/Norge** og **USA** er det ikke klare regler for bruk av ultralyd på matvarer, men kan en regne med at regelverket ikke er til hinder for slik bruk så lenge bruken ikke endrer produktene i så stor grad at det faller under Forordning (EU) 2015/2283. Teknologien er allerede i bruk på en rekke klasser av matvarer.

Kommentarer fra Næringen:

Det er generelt liten erfaring med ultralyd i produksjon av sjømat.

Fordeler:

- Enkel, relativt billig og energiøkonomisk metodikk.
- Ultralyd er relativt godt kjent og brukes ved prøveopparbeiding i laboratorier (sonikering), i industrien til rensebad for blant annet metallkomponenter, samt hos urmakere og gullsmeder.

Ulemper:

- Ultralyd ser bare ut til å effekt på *Lm* dersom den anvendes i kombinasjon med økt temperatur, bruk av tilsetningsstoffer eller UV-eksponering.
- Ultralyd kan skape frie radikaler som kan påvirke produktet negativt.
- Utbredt bruk av ultralyd i en bedrift vil kreve at utstyret skjermes. Selv om ultralyd i seg selv ikke kan høres vil lydgeneratoren avgi støy.
- Usikkerhet knyttet til HMS.

5 - Konklusjon

Forskjellige metoder for dekontaminering og vekstkontroll av *Listeria monocytogenes* i lakseindustrien har blitt utredet, og flere viser potensiale for å bli tatt i bruk. Kriterier som ble lagt til grunn var at produktets sensoriske og fysiokjemiske egenskaper ikke påvirkes negativt, og det er en fordel om metoden ikke etterlater reststoffer og medfører krav til merking. Metodene ble også vurdert mot krav i gjeldene regelverk for mulige tilsetningsstoffer, konserveringsmetoder og merkekrav for matvarer i Norge, EU og viktige importland for norske lakseprodukter.

To av metodene vurdert, ozon og hydrogenperoksid, er forholdsvis godt kjente kjemiske dekontamineringsmetoder som lenge har vært brukt til desinfeksjon, hovedsakelig på overflater eller i vann, men også i noen grad på matvarer. Hydrogenperoksid spaltes til oksygen og vann, mens ozon blir omdannet til oksygen. Begge stoffene er sterkt oksiderende og kan reagere med produktene, men flere studier indikerer at lave konsentrasjoner kan brukes uten å gi uakseptable forandringer i sensoriske egenskaper. Regelverket kan være en hindring, spesielt med tanke på hydrogenperoksid i EU og Norge, men det har vært i bruk i enkelte EU land for dekontaminering av sjømatprodukter.

UV-C stråling og høyfrekvent pulserende lys - HPL i akseptable doser har begge en inaktiverende effekt på *Lm*, med noe høyere grad av dekontaminering knyttet til bruk av HPL enn ved bruk av UV-C. Begge metodene begrenser seg til overflatedekontaminering, og fungerer dårlig på ujevne overflater. *Lm* har også generelt høy resistens mot denne behandlingen, mest sannsynlig knyttet til den gram positive celleveggen og et effektivt DNA-reparasjonssystem. Både UV-C og HPL kommer under «ny mat» regelverket Forordning (EU) 2015/2283 om det ikke har blitt brukt på matvarer før 15. mai 1997, men UV-C har senere blitt godkjent til bruk på flere typer matvarer, og er generelt sett på som uproblematisk.

Kald plasma er en forholdsvis ny teknologi som viser lovende resultater for dekontaminering av *Lm* og biofilmer, med forholdsvis moderate effekter på produktkvaliteten. Et mulig problem er at det er stor variabilitet i effektene av kald plasma avhengig av hvordan plasmaen blir dannet og produktet det brukes på, og det vil sannsynlig kreve en del metodetilpasning avhengig av behovet i forskjellige bedrifter. Som ved bruk av UV-C og HPL, kan skyggeeffekter kan også være et problem. Det er noe usikkerhet om hvilket regelverk kald plasma faller under, men det er sannsynlig at det i Norge vil bli regulert under *Forskrift om ny mat* (EU) 2015/2283 slik det har blitt gjort av det Irske mattilsynet, men EU reglementene for ionisering og tilsetningsstoffer også har blitt nevnt som to muligheter.

Ultralyd ser hovedsakelig ut til å ha en effekt på *Lm* dersom det brukes i kombinasjon med økt temperatur, tilsetningsstoffer eller UV eksponering. Det er også knyttet noe usikkerhet til effekter på arbeidsmiljøet. Regelverket er noe uklart i henhold til bruk av ultralyd, men det er allerede i bruk for dekontaminering av mange matvarer.

Generelt har alle metodene potensiale til å bidra til *Lm*-dekontaminering, spesielt om de kombineres med hverandre eller med andre tiltak som for eksempel tilsetningsstoffer og biokonservering.

7 - Referanser

- Abramzon, N., Joaquin, J. C., Bray, J., & Brelles-Mariño, G. (2006). Biofilm destruction by RF high-pressure cold plasma jet. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 34 (4 II), 1304–1309.
<https://doi.org/10.1109/TPS.2006.877515>
- Agüero, M. V., Jagus, R. J., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2016). Surface decontamination of spinach by intense pulsed light treatments: Impact on quality attributes. *Postharvest Biology and Technology*, 121, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.07.018>
- Albertos, I., Martín-Diana, A. B., Cullen, P. J., Tiwari, B. K., Ojha, K. S., Bourke, P., & Rico, D. (2019). Shelf-life extension of herring (*Clupea harengus*) using in-package atmospheric plasma technology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 53, 85–91. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2017.09.010>
- Albertos, I., Martín-Diana, A. B., Cullen, P. J., Tiwari, B. K., Ojha, S. K., Bourke, P., Álvarez, C., & Rico, D. (2017). Effects of dielectric barrier discharge (DBD) generated plasma on microbial reduction and quality parameters of fresh mackerel (*Scomber scombrus*) fillets. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 44, 117–122. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2017.07.006>
- Alkawareek, M. Y., Gorman, S. P., Graham, W. G., & Gilmore, B. F. (2014). Potential cellular targets and antibacterial efficacy of atmospheric pressure non-thermal plasma. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 43 (2), 154–160. <https://doi.org/10.1016/J.IJANTIMICAG.2013.08.022>
- Anderson, W. E. (1975). Hydrogen peroxide bleaching of marinated herring. In *J. Fd Technol* (Vol. 10).
- Aragon-Alegro, L. C., Lima, E. M. F., Palcich, G., Nunes, T. P., de Souza, K. L. O., Martins, C. G., Noda, P. K., Destro, M. T., & Pinto, U. M. (2021). *Listeria monocytogenes* inhibition by lactic acid bacteria and coliforms in Brazilian fresh white cheese. *Brazilian Journal of Microbiology*, 52 (2), 847. <https://doi.org/10.1007/S42770-021-00431-4>
- Australia New Zealand Food Standards Code – Schedule 18 – Processing Aids, Authorised Version F2021C00092 registered 29/01/2021 (2020).
- Australia New Zealand Food Standards Code – Standard 1.3.3 – Processing Aids, As at 1 March 2016 (2016).
- Australian Government Department of Health, & Australian Government Department of the Environment and Energy. (2014). *Hydrogen peroxide (H2O2): Human health tier II assessment*.
https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessment-details?assessment_id=1404
- Autorizzazione ministeriale: Utilizzo di una miscela contenente presidio d'idrogeno per la lavorazione dei molluschi cefalopodi - Associazione Nazionale delle Aziende Ittiche . (n.d.). Retrieved 30 November 2023, from <https://www.assoittica.it/autorizzazione-ministeriale-utilizzo-di-una-miscela-contenente-presidio-d-idrogeno-per-la-lavorazione-dei-molluschi-cefalopodi/>
- Back, K. H., Ha, J. W., & Kang, D. H. (2014). Effect of hydrogen peroxide vapor treatment for inactivating *Salmonella* Typhimurium, *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on organic fresh lettuce. *Food Control*, 44, 78–85. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2014.03.046>
- Bahrami, A., Moaddabdoost Baboli, Z., Schimmel, K., Jafari, S. M., & Williams, L. (2020). Efficiency of novel

- processing technologies for the control of *Listeria monocytogenes* in food products. *Trends in Food Science & Technology*, 96, 61–78. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.12.009>
- Barbosa, M. S., Jurkiewicz, C., Landgraf, M., Todorov, S. D., & Franco, B. D. G. M. (2018). Effect of proteins, glucose and NaCl on growth, biosynthesis and functionality of bacteriocins of *Lactobacillus sakei* subsp. *sakei* 2a in foods during storage at 4 °C: Tests in food models. *LWT*, 95, 167–171. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.04.082>
- Barcenilla, C., Ducic, M., López, M., Prieto, M., & Álvarez-Ordóñez, A. (2022). Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review. *Meat Science*, 183, 108661. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2021.108661>
- Bariya, A. R., Rathod, N. B., Patel, A. S., Nayak, J. K. B., Ranveer, R. C., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., Ozogul, F., Jambrak, A. R., & Rocha, J. M. (2023). Recent developments in ultrasound approach for preservation of animal origin foods. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101, 106676. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2023.106676>
- Bayliss, C. E., & Waites, W. M. (1979). The Combined Effect of Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Irradiation on Bacterial Spores. *Journal of Applied Bacteriology*, 47 (2), 263–269. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2672.1979.TB01753.X>
- Beauchamp, S., & Lacroix, M. (2012). Resistance of the genome of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* to irradiation evaluated by the induction of cyclobutane pyrimidine dimers and 6-4 photoproducts using gamma and UV-C radiations. *Radiation Physics and Chemistry*, 81 (8), 1193–1197. <https://doi.org/10.1016/J.RADPHYSICHEM.2011.11.007>
- Beitia, E., Gkogka, E., Chanos, P., Hertel, C., Heinz, V., Valdramidis, V., & Aganovic, K. (2023). Microbial decontamination assisted by ultrasound-based processing technologies in food and model systems: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22 (4), 2802–2849. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13163>
- Belias, A., Sullivan, G., Wiedmann, M., & Ivanek, R. (2022). Factors that contribute to persistent *Listeria* in food processing facilities and relevant interventions: A rapid review. *Food Control*, 133, 108579. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2021.108579>
- Bell, K. Y., Cutter, C. N., & Sumner, S. S. (1997). Reduction of foodborne micro-organisms on beef carcass tissue using acetic acid, sodium bicarbonate, and hydrogen peroxide spray washes. *Food Microbiology*, 14 (5), 439–448. <https://doi.org/10.1006/FMIC.1997.0108>
- Bernbom, N., Vogel, B. F., & Gram, L. (2011). *Listeria monocytogenes* survival of UV-C radiation is enhanced by presence of sodium chloride, organic food material and by bacterial biofilm formation. *International Journal of Food Microbiology*, 147 (1), 69–73. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2011.03.009>
- Bhattacharjee, C., Saxena, V. K., & Dutta, S. (2019). Novel thermal and non-thermal processing of watermelon juice. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 234–243. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.09.015>
- Blázquez, E., Rodríguez, C., Ródenas, J., De Rozas, A. P., Segalés, J., Pujols, J., & Polo, J. (2017). Ultraviolet (UV-C) inactivation of *Enterococcus faecium*, *Salmonella choleraesuis* and *Salmonella typhimurium* in porcine plasma. *PLoS ONE*, 12 (4). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0175289>
- Blázquez, E., Rodríguez, C., Ródenas, J., Navarro, N., Riquelme, C., Rosell, R., Campbell, J., Crenshaw, J.,

- Segalés, J., Joan, P., & Polo, J. (2019). Evaluation of the effectiveness of the SurePure Turbulator ultraviolet-C irradiation equipment on inactivation of different enveloped and non-enveloped viruses inoculated in commercially collected liquid animal plasma. *PLoS ONE*, *14* (2).
<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0212332>
- Bohrerova, Z., Shemer, H., Lantis, R., Impellitteri, C. A., & Linden, K. G. (2008). Comparative disinfection efficiency of pulsed and continuous-wave UV irradiation technologies. *Water Research*, *42* (12), 2975–2982.
<https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2008.04.001>
- Briñez, W. J., Roig-Sagués, A. X., Hernández Herrero, M. M., López-Pedemonte, T., & Guamis, B. (2006). Bactericidal efficacy of peracetic acid in combination with hydrogen peroxide against pathogenic and non pathogenic strains of *Staphylococcus* spp., *Listeria* spp. and *Escherichia coli*. *Food Control*, *17* (7), 516–521.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2005.02.014>
- Carneiro, L., Dos Santos Sa, I., Dos Santos Gomes, F., Matta, V. M., & Cabral, L. M. C. (2002). Cold sterilization and clarification of pineapple juice by tangential microfiltration. *Desalination*, *148* (1–3), 93–98.
[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00659-8](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00659-8)
- Cepeda Sáez, A., Martínez López, A., Paseiro Losada, P., Pla Martínez, A., & López Rodríguez, R. (2011). *Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) in relation to the use of hydrogen peroxide as a processing aid in the processing of blood products and cephalopods*.
- CFR - Code of Federal Regulations Title 21 . (1996). US FDA.
<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=179.41>
- Chaijan, M., Chaijan, S., Panya, A., Nisoa, M., Cheong, L. Z., & Panpipat, W. (2021). High hydrogen peroxide concentration-low exposure time of plasma-activated water (PAW): A novel approach for shelf-life extension of Asian sea bass (*Lates calcarifer*) steak. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *74* .
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102861>
- Cheigh, C. I., Hwang, H. J., & Chung, M. S. (2013). Intense pulsed light (IPL) and UV-C treatments for inactivating *Listeria monocytogenes* on solid medium and seafoods. *Food Research International*, *54* (1), 745–752. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2013.08.025>
- Cheigh, C. I., Park, M. H., Chung, M. S., Shin, J. K., & Park, Y. S. (2012). Comparison of intense pulsed light and ultraviolet (UVC)-induced cell damage in *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7. *Food Control*, *25* (2), 654–659. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2011.11.032>
- Colejo, S., Alvarez-Ordóñez, A., Prieto, M., González-Raurich, M., & López, M. (2018). Evaluation of ultraviolet light (UV), non-thermal atmospheric plasma (NTAP) and their combination for the control of foodborne pathogens in smoked salmon and their effect on quality attributes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *50*, 84–93. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2018.10.002>
- Conficoni, D., Losasso, C., Cortini, E., Di Cesare, A., Cibir, V., Giaccone, V., Corno, G., & Ricci, A. (2016). Resistance to biocides in *Listeria monocytogenes* collected in meat-processing environments. *Frontiers in Microbiology*, *7*, 1627. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2016.01627/BIBTEX>
- Critzer, F. J., Kelly-Wintenberg, K., South, S. L., & Golden, D. A. (2007). Atmospheric Plasma Inactivation of Foodborne Pathogens on Fresh Produce Surfaces. *Journal of Food Protection*, *70* (10), 2290–2296.
<https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.10.2290>

- Crowe, K. M., Skonberg, D., Bushway, A., & Baxter, S. (2012). Application of ozone sprays as a strategy to improve the microbial safety and quality of salmon fillets. *Food Control*, 25 (2), 464–468. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2011.11.021>
- Dalzini, E., Bernini, V., Bertasi, B., Daminelli, P., Losio, M. N., & Varisco, G. (2016). Survey of prevalence and seasonal variability of *Listeria monocytogenes* in raw cow milk from Northern Italy. *Food Control*, 60, 466–470. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2015.08.019>
- de Siqueira Oliveira, L., Eça, K. S., de Aquino, A. C., & Vasconcelos, L. B. (2018). Hydrogen Peroxide (H₂O₂) for Postharvest Fruit and Vegetable Disinfection. In M. W. Siddiqui (Ed.), *Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables* (1st ed., pp. 91–99). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812698-1.00004-2>
- Dogruiyol, H., Mol, S., & Cosansu, S. (2020). Increased thermal sensitivity of *Listeria monocytogenes* in sous-vide salmon by oregano essential oil and citric acid. *Food Microbiology*, 90, 103496. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2020.103496>
- ECDC, & EFSA. (2019). *Multi-country outbreak of Listeria monocytogenes clonal complex 8 infections linked to consumption of cold-smoked fish products*.
- EFSA. (2022). The European Union One Health 2021 Zoonoses Report. In *EFSA Journal* (Vol. 20, Issue 12). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2022.7666>
- EFSA. (2023). The European Union One Health 2022 Zoonoses Report. In *EFSA Journal* (Vol. 21, Issue 12). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8442>
- EFSA. (2024). The European Union One Health 2023 Zoonoses report. In *EFSA Journal* (Vol. 22, Issue 12). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.9106>
- Ekezie, F. G. C., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2019). Effects of atmospheric pressure plasma jet on the conformation and physicochemical properties of myofibrillar proteins from king prawn (*Litopenaeus vannamei*). *Food Chemistry*, 276, 147–156. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.09.113>
- El-Zamkan, M. A., Hendy, B. A., Diab, H. M., Marraiki, N., Batiha, G. E. S., Saber, H., Younis, W., Thangamani, S., Alzahrani, K. J., & Ahmed, A. S. (2021). Control of Virulent *Listeria monocytogenes* Originating from Dairy Products and Cattle Environment Using Marine Algal Extracts, Silver Nanoparticles Thereof, and Quaternary Disinfectants. *Infection and Drug Resistance*, 14, 2721–2739. <https://doi.org/10.2147/IDR.S300593>
- Endersen, L., & Coffey, A. (2020). The use of bacteriophages for food safety. *Current Opinion in Food Science*, 36, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2020.10.006>
- Ermolaeva, S. A., Varfolomeev, A. F., Chernukha, M. Y., Yurov, D. S., Vasiliev, M. M., Kaminskaya, A. A., Moisenovich, M. M., Romanova, J. M., Murashev, A. N., Selezneva, I. I., Shimizu, T., Sysolyatina, E. V., Shaginyan, I. A., Petrov, O. F., Mayevsky, E. I., Fortov, V. E., Morfill, G. E., Naroditsky, B. S., & Gintsburg, A. L. (2011). Bactericidal effects of non-thermal argon plasma in vitro, in biofilms and in the animal model of infected wounds. *Journal of Medical Microbiology*, 60 (1), 75–83. <https://doi.org/10.1099/JMM.0.020263-0/CITE/REFWORKS>
- EUROPAPARLAMENTS- OG RÅDSFORORDNING (EF) NR. 1333/2008 av 16. Desember 2008 om Tilsætningsstoffer i Næringsmidler (*), EØS-tillegget til Den europeiske unions tidende (2015).
- European Chemicals Agency. (2014). *Transitional Guidance on the Biocidal Products Regulation Transitional*

Guidance on Evaluation of Environmental Risk Mitigation Measures for Disinfectants Product Type 5 (Drinking water) . https://comments.echa.europa.eu/comments_cms/FeedbackGuidance.aspx

European Parliament. (2016a). *Parliamentary question / Answer to Question No E-002605/16 / E-002605/2016(ASW) / European Parliament* . https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-8-2016-002605-ASW_EN.html

European Parliament. (2016b). *Parliamentary question / Use of hydrogen peroxide in the processing of molluscs / E-003420/2016 / European Parliament* . https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-8-2016-003420_EN.html

European Parliament. (2017). *Parliamentary question / Health risk to consumers posed by use of hydrogen peroxide in the processing of cephalopod molluscs: request for investigation by the Commission / E-001477/2017 / European Parliament* . https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-8-2017-001477_EN.html

European Union. (2024). COMMISSION REGULATION (EU) 2024/2895 of 20 November 2024 amending Regulation (EC) No 2073/2005 as regards *Listeria monocytogenes*. *Official Journal of the European Union* . <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8442>

Fagerlund, A., Langsrud, S., & Møretrø, T. (2021). Microbial diversity and ecology of biofilms in food industry environments associated with *Listeria monocytogenes* persistence. *Current Opinion in Food Science*, 37, 171–178. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2020.10.015>

Fagerlund, A., Møretrø, T., Heir, E., Briandet, R., & Langsruda, S. (2017). Cleaning and disinfection of biofilms composed of *Listeria monocytogenes* and background microbiota from meat processing surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(17). https://doi.org/10.1128/AEM.01046-17/SUPPL_FILE/ZAM999118021S1.PDF

Fagerlund, A., Wagner, E., Møretrø, T., Heir, E., Moen, B., Rychli, K., & Langsrud, S. (2022). Pervasive *Listeria monocytogenes* Is Common in the Norwegian Food System and Is Associated with Increased Prevalence of Stress Survival and Resistance Determinants . *Applied and Environmental Microbiology*, 88(18). https://doi.org/10.1128/AEM.00861-22/SUPPL_FILE/AEM.00861-22-S0001.PDF

FDA. (2016). *eCFR :: 21 CFR 184.1366 -- Hydrogen peroxide*. <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-1/subchapter-B/part-184/subpart-B/section-184.1366>

FDA. (2018). *Microorganisms & Microbial-Derived Ingredients Used in Food (Partial List) / FDA* . [Fda.Org.Gov. https://www.fda.gov/food/generally-recognized-safe-gras/microorganisms-microbial-derived-ingredients-used-food-partial-list](https://www.fda.gov/food/generally-recognized-safe-gras/microorganisms-microbial-derived-ingredients-used-food-partial-list)

FDA. (2023a). *21CFR173.368* . <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=173.368>

FDA. (2023b). *CFR - Code of Federal Regulations Title 21* . <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1366>

Feizollahi, E., Misra, N. N., & Roopesh, M. S. (2021). Factors influencing the antimicrobial efficacy of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Atmospheric Cold Plasma (ACP) in food processing applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(4), 666–689. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1743967>

- Food Safety Authority of Ireland. (2020). *Appraisal of new and emerging food processing technologies and their potential risks to food safety* . www.fsai.ie
- Food Safety Commission of Japan. (2016). *Risk Assessment Report Hydrogen peroxide (Food Additives)* .
- Forskrift (EC) No 258/97, Novel Foods and Novel Food Ingredients, Pub. L. No. 258/97 (1997).
- Forskrift (EU) 2015/1730, Pub. L. No. 2015/1730, Official Journal of the European Union (2015).
- Forskrift (EU) 2023/1078 of 2 June 2023 Ozone Generated from Oxygen as an Active Substance for Use in Biocidal Products of product-Types 2, 4, 5 and 11 in Accordance with Regulation (EU) No 528/2012 of the European and of the Council, Official Journal of the European Union (2023).
- Franco-Abuín, C. M., Rozas-Barrero, J., Romero-Rodríguez, M. A., Cepeda-Sáez, A., & Fente-Sampayo, C. (1997). Effect of modified atmosphere packaging on the growth and survival of *Listeria* in raw minced beef. *Food Science and Technology International*, 3, 285–290.
- Gayán, E., Serrano, M. J., Pagán, R., Álvarez, I., & Condón, S. (2015). Environmental and biological factors influencing the UV-C resistance of *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiology*, 46, 246–253.
<https://doi.org/10.1016/J.FM.2014.08.011>
- Generally Recognized as Safe (GRAS) / FDA* . (2025, February). <https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/generally-recognized-safe-gras?uid=bddefeac027fds16>
- Ghanbari, M., Jami, M., Domig, K. J., & Kneifel, W. (2013). Seafood biopreservation by lactic acid bacteria – A review. *LWT - Food Science and Technology*, 54(2), 315–324. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2013.05.039>
- Giannoglou, M., Dimitrakellis, P., Efthimiadou, A ., Gogolides, E ., & Katsaros, G. (2021). Comparative Study on the Effect of Cold Atmospheric Plasma, Ozonation, Pulsed Electromagnetic Fields and High-Pressure Technologies on Sea Bream Fillet Quality Indices and Shelf Life. *Food Engineering Reviews*, 13(1), 175–184.
<https://doi.org/10.1007/S12393-020-09248-7/FIGURES/3>
- Glass, K. A., Lim, J. Y., & Singer, Q. L. (2024). Inactivation of *Listeria monocytogenes* by Hydrogen Peroxide Addition in Commercial Cheese Brines. *Journal of Food Protection*, 87(1), 100191.
<https://doi.org/10.1016/J.JFP.2023.100191>
- Gómez-López, V. M., Devlieghere, F., Bonduelle, V., & Debevere, J. (2005). Factors affecting the inactivation of micro-organisms by intense light pulses. *Journal of Applied Microbiology*, 99(3), 460–470.
<https://doi.org/10.1111/J.1365-2672.2005.02641.X>
- Gómez-López, V. M., Koutchma, T., & Linden, K. (2011). Ultraviolet and Pulsed Light Processing of Fluid Foods. In *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods* (pp. 185–223). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381470-8.00008-6>
- Gonçalves Alex Augusto. (2019). Ozone application in seafood processing. In *Innovative Technologies in Seafood Processing* . CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429327551/INNOVATIVE-TECHNOLOGIES-SEAFOOD-PROCESSING-YESIM-OZOGUL>
- Gonzales-Barron, U., Pouillot, R., Skjerdal, T., Carrasco, E., Teixeira, P., Stasiewicz, M. J., Hasegawa, A., De Oliveira Mota, J., Guillier, L., Cadavez, V., & Sanaa, M. (2024). A Quantitative Risk Assessment Model for *Listeria monocytogenes* in Ready-to-Eat Smoked and Gravád Fish. *Foods* 2024, Vol. 13, Page 3831, 13(23),

3831. <https://doi.org/10.3390/FOODS13233831>

Gonzalez-Fandos, E., Martinez-Laorden, A., & Perez-Arnedo, I. (2020). Combined Effect of Organic Acids and Modified Atmosphere Packaging on *Listeria monocytogenes* in Chicken Legs. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 10 (10), 1818. <https://doi.org/10.3390/ANI10101818>

Gottardo, F. M., Biduski, B., Santos, L. F. dos, Santos, J. S. dos, Rodrigues, L. B., & Santos, L. R. dos. (2022). Microencapsulated oregano and cinnamon essential oils as a natural alternative to reduce *Listeria monocytogenes* in Italian salami. *Food Bioscience*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102146>

Grønstøl, H. (1979). Listeriosis in Sheep: *Listeria Monocytogenes* Excretion and Immunological State in Sheep in Flocks with Clinical Listeriosis. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 20 (3), 417–428. <https://doi.org/10.1186/BF03546603/METRICS>

Hadjok, C., Mittal, G. S., & Warriner, K. (2008). Inactivation of human pathogens and spoilage bacteria on the surface and internalized within fresh produce by using a combination of ultraviolet light and hydrogen peroxide. *Journal of Applied Microbiology*, 104 (4), 1014–1024. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2672.2007.03624.X>

Handorf, O., Pauker, V. I., Weihe, T., Schäfer, J., Freund, E., Schnabel, U., Bekeschus, S., Riedel, K., & Ehlbeck, J. (2021). Plasma-Treated Water Affects *Listeria monocytogenes* Vitality and Biofilm Structure. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.652481>

Hasani, M., Chudyk, J., Murray, K., Lim, L. T., Lubitz, D., & Warriner, K. (2019). Inactivation of *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Aspergillus* and *Penicillium* on lemons using advanced oxidation process optimized through response surface methodology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 54, 182–191. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.04.010>

Hierro, E., Ganan, M., Barroso, E., & Fernández, M. (2012). Pulsed light treatment for the inactivation of selected pathogens and the shelf-life extension of beef and tuna carpaccio. *International Journal of Food Microbiology*, 158 (1), 42–48. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2012.06.018>

Hill, C. (1993). Bacteriophage and bacteriophage resistance in lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Reviews*, 12 (1–3), 87–108. <https://doi.org/10.1111/J.1574-6976.1993.TB00013.X>

Himonides, A. T., Taylor, A., & Knowles, M. J. (1999). The improved whitening of cod and haddock flaps using hydrogen peroxide. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 845850. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(19990501\)79:6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(19990501)79:6)

Hoel, S., Jakobsen, A. N., Mehli, L., & Lerfall, J. (2021). Kartlegging av *Listeria monocytogenes* i fôr og sjøfase ved produksjon av atlantisk laks (*Salmo salar*).

Hoigné, J., & Bader, H. (1975). Ozonation of Water: Role of Hydroxyl Radicals as Oxidizing Intermediates. *Science*, 190.

Holah, J. T., Bird, J., & Hall, K. E. (2004). The microbial ecology of high-risk, chilled food factories; evidence for persistent *Listeria* spp. and *Escherichia coli* strains. *Journal of Applied Microbiology*, 97 (1), 68–77. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02272.x>

Holck, A., Liland, K. H., Carlehög, M., & Heir, E. (2018). Reductions of *Listeria monocytogenes* on cold-smoked and raw salmon fillets by UV-C and pulsed UV light. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 50, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2018.10.007>

- Holm, J. A., Lunestad, B. T., Øvrebø, J., & Liby, J. (2003). *Bruk av ozon i sjømatindustrien*. Kyst.No. <https://www.kyst.no/arkiv/bruk-av-ozon-i-sjomatindustrien/507157>
- Hwang, H. J., Park, J. Y., Chung, M. S., & Cheigh, C. I. (2021). Microbial inactivation in fresh and minimally processed foods by intense pulsed light (IPL) treatment. *Food Science and Biotechnology*, 30 (7), 939–948. <https://doi.org/10.1007/S10068-021-00937-5/TABLES/1>
- Ingham, S. C., Buege, D. R., Dropp, B. K., & Losinski, J. A. (2004). Survival of *Listeria monocytogenes* during Storage of Ready-to-Eat Meat Products Processed by Drying, Fermentation, and/or Smoking. *Journal of Food Protection*, 67 (12), 2698–2702. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.12.2698>
- Jafarpour, A., Sherkat, F., Leonard, B., & Gorczyca, E. M. (2008). Colour improvement of common carp (*Cyprinus carpio*) fillets by hydrogen peroxide for surimi production. *International Journal of Food Science and Technology*, 43 (9), 1602–1609. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2007.01622.X>
- Jelena, M., & Zorana, M. (2022). Flavors, colors, and preservatives used in processed cheese. *Processed Cheese Science and Technology: Ingredients, Manufacture, Functionality, Quality, and Regulations*, 125–147. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821445-9.00014-5>
- Jones, I. A., & Joshi, L. T. (2021). Biocide Use in the Antimicrobial Era: A Review. *Molecules*, 26 (8). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26082276>
- Jyung, S., Kang, J. W., & Kang, D. H. (2022). *L. monocytogenes* exhibited less cell membrane damage, lipid peroxidation, and intracellular reactive oxygen species accumulation after plasma-activated water treatment compared to *E. coli* O157:H7 and *S. Typhimurium*. *Food Microbiology*, 108, 104098. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2022.104098>
- Jyung, S., Kang, J. W., & Kang, D. H. (2023). Inactivation of *Listeria monocytogenes* through the synergistic interaction between plasma-activated water and organic acid. *Food Research International*, 167, 112687. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.112687>
- Keklik, N. M., Krishnamurthy, K., & Demirci, A. (2012). Microbial decontamination of food by ultraviolet (UV) and pulsed UV light. *Microbial Decontamination in the Food Industry: Novel Methods and Applications*, 344–369. <https://doi.org/10.1533/9780857095756.2.344>
- Khaire, R. A., Thorat, B. N., & Gogate, P. R. (2022). Applications of ultrasound for food preservation and disinfection: A critical review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46 (10), e16091. <https://doi.org/10.1111/JFPP.16091>
- Khaleque, M. A., Keya, C. A., Hasan, K. N., Hoque, M. M., Inatsu, Y., & Bari, M. L. (2016). Use of cloves and cinnamon essential oil to inactivate *Listeria monocytogenes* in ground beef at freezing and refrigeration temperatures. *LWT*, 74, 219–223. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.042>
- Khandpur, P., & Gogate, P. R. (2016). Evaluation of ultrasound based sterilization approaches in terms of shelf life and quality parameters of fruit and vegetable juices. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 337–353. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2015.10.008>
- Kim, J. G., Yousef, A. E., & Dave, S. (1999). Application of Ozone for Enhancing the Microbiological Safety and Quality of Foods: A Review. *Journal of Food Protection*, 62 (9), 1071–1087. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-62.9.1071>

- Kim, T. J., Silva, J. L., Chamul, R. S., & Chen, T. C. (2000). Influence of Ozone, Hydrogen Peroxide, or Salt on Microbial Profile, TBARS and Color of Channel Catfish Fillets. *Journal of Food Science*, 65 (7), 1210–1213. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2000.TB10267.X>
- Kljujev, I., Raicevic, V., Jovicic-Petrovic, J., Vujovic, B., Mirkovic, M., & Rothballer, M. (2018). *Listeria monocytogenes* – Danger for health safety vegetable production. *Microbial Pathogenesis*, 120, 23–31. <https://doi.org/10.1016/J.MICPATH.2018.04.034>
- Knudsen, G. M., Ng, Y., & Gram, L. (2013). Survival of bactericidal antibiotic treatment by a persister subpopulation of *Listeria monocytogenes*. *Applied and Environmental Microbiology*, 79 (23), 7390–7397. https://doi.org/10.1128/AEM.02184-13/SUPPL_FILE/ZAM999104912SO1.PDF
- Komora, N., Maciel, C., Amaral, R. A., Fernandes, R., Castro, S. M., Saraiva, J. A., & Teixeira, P. (2021). Innovative hurdle system towards *Listeria monocytogenes* inactivation in a fermented meat sausage model - high pressure processing assisted by bacteriophage P100 and bacteriocinogenic *Pediococcus acidilactici*. *Food Research International*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110628>
- Koutchma, T. (2018). *Status of International Regulations for Ultraviolet Treatment of Foods*. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/>
- Koutsoumanis, K., Allende, A., Alvarez-Ordóñez, A., Bolton, D., Bover-Cid, S., Chemaly, M., Davies, R., De Cesare, A., Hilbert, F., Lindqvist, R., Nauta, M., Peixe, L., Ru, G., Simmons, M., Skandamis, P., Suffredini, E., Cocconcilli, P. S., Fernández Escámez, P. S., Prieto-Maradona, M., ... Herman, L. (2021). Update of the list of QPS-recommended biological agents intentionally added to food or feed as notified to EFSA 14: suitability of taxonomic units notified to EFSA until March 2021. *EFSA Journal*, 19(7). <https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2021.6689>
- Krezanoski JZ, H. R. (1988). A comparison of new hydrogen peroxide disinfection systems. *J Am Optom Assoc.*, 59 (3), 193–197.
- Kristiansen, O. (2024). *Decontamination of Listeria monocytogenes in Atlantic salmon (Salmo salar L.) processing by using hydrogen peroxide* [McS]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/3153307>
- Kumar, D., Yadav, G. P., Dalbhagat, C. G., & Mishra, H. N. (2022). Effects of cold plasma on food poisoning microbes and food contaminants including toxins and allergens: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46 (11), e17010. <https://doi.org/10.1111/JFPP.17010>
- Lacombe, A., Niemira, B. A., Gurtler, J. B., Fan, X., Sites, J., Boyd, G., & Chen, H. (2015). Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. *Food Microbiology*, 46, 479–484. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2014.09.010>
- Lambrechts, K., & Rip, D. (2024). *Listeria monocytogenes* in the seafood industry: Exploring contamination sources, outbreaks, antibiotic susceptibility and genetic diversity. *MicrobiologyOpen*, 13 (5), e70003. <https://doi.org/10.1002/MBO3.70003;WGROU:STRING:PUBLICATION>
- Laroussi, M., Mendis, D. A., & Rosenberg, M. (2003). Plasma interaction with microbes. In *New Journal of Physics* (Vol. 5, Issue 10). <http://www.njp.org/>
- Lee, S. H. I., Cappato, L. P., Corassin, C. H., Cruz, A. G., & Oliveira, C. A. F. (2016). Effect of peracetic acid on biofilms formed by *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes* isolated from dairy plants. *Journal of Dairy Science*, 99 (3), 2384–2390. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10007>

- Lee, S. H. I., Cappato, L. P., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Franco, L. T., da Cruz, A. G., Corassin, C. H., & de Oliveira, C. A. F. (2019). *Listeria monocytogenes* in Milk: Occurrence and Recent Advances in Methods for Inactivation. *Beverages* 2019, Vol. 5, Page 14, 5 (1), 14.
<https://doi.org/10.3390/BEVERAGES5010014>
- Leggett, M. J., Spencer Schwarz, J., Burke, P. A., McDonnell, G., Denyer, S. P., & Maillard, J. Y. (2016). Mechanism of sporicidal activity for the synergistic combination of peracetic acid and hydrogen peroxide. *Applied and Environmental Microbiology* 82 (4), 1035–1039. <https://doi.org/10.1128/AEM.03010-15/ASSET/F2D72A9F-2D2B-40BA-8BEC-8918F8F2E51A/ASSETS/GRAPHIC/ZAM00416-6911-T04.JPEG>
- Lenaerts, L., Passos, T. F., Gayán, E., Michiels, C. W., & Nitschke, M. (2023). Hurdle Technology Approach to Control *Listeria monocytogenes* Using Rhamnolipid Biosurfactant. *Foods* 2023, Vol. 12, Page 570, 12 (3), 570.
<https://doi.org/10.3390/FOODS12030570>
- Lerouge, S., Wertheimer, M. R., Marchand, R., Tabrizian, M., & Yahia, L. ' H. (2000). *Effect of gas composition on spore mortality and etching during low-pressure plasma sterilization* . [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4636\(200007\)51:1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4636(200007)51:1)
- Li, J., Wang, Z., Ge, Y., Sun, Q., & Hu, X. (2006). Clarification and sterilization of raw depectinized apple juice by ceramic ultrafiltration membranes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86 (1), 148–155.
<https://doi.org/10.1002/JSFA.2281>
- Lopez-Malo, A., & Palou, E. (2004). Ultraviolet Light and Food Preservation. In *Novel Food Processing Technologies* (pp. 427–444). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203997277-21>
- López-Mendoza, M. C., Ruiz, P., & Mata, C. M. (2007). Combined effects of nisin, lactic acid and modified atmosphere packaging on the survival of *Listeria monocytogenes* in raw ground pork: Antimicrobials to control *Listeria* in meat. *International Journal of Food Science and Technology*, 42 (5), 562–566.
<https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2006.01275.X>
- Lou, Y., & Yousef, A. E. (1996). Resistance of *Listeria monocytogenes* to Heat after Adaptation to Environmental Stresses. *Journal of Food Protection*, 59 (5), 465–471. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-59.5.465>
- Lou, Y., & Yousef, A. E. (1997). Adaptation to sublethal environmental stresses protects *Listeria monocytogenes* against lethal preservation factors. *Applied and Environmental Microbiology*, 63 (4), 1252–1255.
<https://doi.org/10.1128/AEM.63.4.1252-1255.1997>
- Louis Bresson, J., Burlingame, B., Dean, T., Fairweather-Tait, S., Heinonen, M., Ildico Hirsch-Ernst, K., Mangelsdorf, I., McArdle, H., Naska, A., Neuhaus-Berthold, M., Nowicka, G., Pentieva, K., Sanz, Y., Siani, A., Sjödin, A., Stern, M., Tomé, D., Turck, D., Van Loveren, H., ... Schlatter, J. (2016). Safety of UV-treated milk as a novel food pursuant to Regulation (EC) No 258/97. *EFSA Journal*, 14 (1), 4370.
<https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2016.4370>
- Lovdata. (2016). *Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften)* - Lovdata . FOR-2016-12-22-1868. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868>
- Mai-Prochnow, A., Zhou, R., Zhang, T., Ostrikov, K. (Ken), Mugunthan, S., Rice, S. A., & Cullen, P. J. (2021). Interactions of plasma-activated water with biofilms: inactivation, dispersal effects and mechanisms of action. *NPJ Biofilms and Microbiomes*, 7 (1), 11. <https://doi.org/10.1038/S41522-020-00180-6>

- Manimaran, U., Shakila, R. J., Shalini, R., Sivaraman, B., Sumathi, G., Selvaganapathi, R., & Jeyasekaran, G. (2016). Effect of additives in the shelflife extension of chilled and frozen stored Indian octopus (*Cistopus indicus*). *Journal of Food Science and Technology*, 53 (2), 1348–1354. <https://doi.org/10.1007/S13197-015-1930-0/FIGURES/3>
- Marik, C. M., Zuchel, J., Schaffner, D. W., & Strawn, L. K. (2020). Growth and Survival of *Listeria monocytogenes* on Intact Fruit and Vegetable Surfaces During Postharvest Handling: A Systematic Literature Review. *Journal of Food Protection*, 83 (1), 108–128. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-283>
- Martin, H., & Maris, P. (2012). Synergism between hydrogen peroxide and seventeen acids against six bacterial strains. *Journal of Applied Microbiology*, 113 (3), 578–590. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2672.2012.05364.X>
- Martínez, B., García, P., & Rodríguez, A. (2019). Swapping the roles of bacteriocins and bacteriophages in food biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 56, 1–6. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2018.07.007>
- Mataragas, M., Drosinos, E. H., & Metaxopoulos, J. (2003). Antagonistic activity of lactic acid bacteria against *Listeria monocytogenes* in sliced cooked cured pork shoulder stored under vacuum or modified atmosphere at 4721C. *Food Microbiology*, 20, 259–265. www.elsevier.nl/locate/jnlabr/yfmic
- Mattilsynet. (2023). *Godkjenning av produkter til behandling av drikkevann (vannbehandlingskemikalier) / Mattilsynet*. <https://www.mattilsynet.no/drikkevannsforsyning/godkjenning-av-produkter-til-behandling-av-drikkevann#kap-1-godkjente-vannbehandlingskemikalier>
- McDonnell, G. (2014). The Use of Hydrogen Peroxide for Disinfection and Sterilization Applications. *Patai's Chemistry of Functional Groups*, 1–34. <https://doi.org/10.1002/9780470682531.PAT0885>
- Mehta, D., & Yadav, S. K. (2022). Recent Advances in Cold Plasma Technology for Food Processing. *Food Engineering Reviews* 2022 14:4, 14 (4), 555–578. <https://doi.org/10.1007/S12393-022-09317-Z>
- Mercogliano, R. (2014). Ozone Decontamination of Poultry Meat and Biogenic Amines as Quality Index. *Journal of Food Processing & Technology*, 05 (03). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000305>
- Mikš-Krajnik, M., James Feng, L. X., Bang, W. S., & Yuk, H. G. (2017). Inactivation of *Listeria monocytogenes* and natural microbiota on raw salmon fillets using acidic electrolyzed water, ultraviolet light or/and ultrasounds. *Food Control*, 74, 54–60. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2016.11.033>
- Miljødirektoratet. (2023). *Godkjente biocidprodukter i Norge - Miljødirektoratet*. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/kjemikalier/biocider/godkjente-biocidprodukter/>
- Miller, T. E. (1969). Killing and Lysis of Gram-negative Bacteria Through the Synergistic Effect of Hydrogen Peroxide, Ascorbic Acid, and Lysozyme. In *JOURNAL OF BACTERIOLOGY* (Vol. 98, Issue 3). <https://journals.asm.org/journal/jb>
- Ministerio della Salute. (2016). *Richiesta di impegno di una soluzione acquosa contenente perossido di idrogeno, come coadiuvante tecnologico, nella lavorazione dei molluschi cefalopodi eviscerati*.
- Ministero della Salute. (2016). *Direzione generale per L'igiene la sicurezza degli alimenti e la nutrizione ufficio VI*.
- Misra, N. N., Tiwari, • B K, Raghavarao, • K S M S, & Cullen, • P J. (2011). Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens. *Food Eng Rev*, 3, 159–170. <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9041-9>

- Mohapatra, S., Yutao, L., Goh, S. G., Ng, C., Luhua, Y., Tran, N. H., & Gin, K. Y. H. (2023). Quaternary ammonium compounds of emerging concern: Classification, occurrence, fate, toxicity and antimicrobial resistance. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 445). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130393>
- Morales-Ramos, J. A., Tomberlin, J. K., Miranda, C., & Rojas, M. G. (2024). Rearing methods of four insect species intended as feed, food, and food ingredients: a review. *Journal of Economic Entomology*, 117(4), 1210–1224. <https://doi.org/10.1093/JEE/TOAE040>
- Møretrø, T., Fanebust, H., Fagerlund, A., & Langsrud, S. (2019). Whole room disinfection with hydrogen peroxide mist to control *Listeria monocytogenes* in food industry related environments. *International Journal of Food Microbiology*, 292, 118–125. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2018.12.015>
- Mukherjee, A., Gómez-Sala, B., O'Connor, E. M., Kenny, J. G., & Cotter, P. D. (2022). Global Regulatory Frameworks for Fermented Foods: A Review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 902642.
<https://doi.org/10.3389/FNUT.2022.902642/FULL>
- Naanwaab, C., Yeboah, O.-A., Kyei, F. O., Sulakvelidze, A., & Goktepe, I. (2014). Evaluation of consumers' perception and willingness to pay for bacteriophage treated fresh produce. *Bacteriophage*, 4(4), e979662.
<https://doi.org/10.4161/21597081.2014.979662>
- Nguyen, D. Van, Ho, N. M., Hoang, K. D., Le, T. V., & Le, V. H. (2020). An investigation on treatment of groundwater with cold plasma for domestic water supply. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100309. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2019.100309>
- Nichols, D. S., Presser, K. A., Olley, J., Ross, T., & McMeekin, T. A. (2002). Variation of branched-chain fatty acids marks the normal physiological range for growth in *Listeria monocytogenes*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(6), 2809–2813. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.6.2809-2813.2002/ASSET/5A6FE86F-2279-420A-8CF4-8DB11F3DF4D6/ASSETS/GRAPHIC/AM0621613003.JPEG>
- Nicorescu, I., Nguyen, B., Chevalier, S., & Orange, N. (2014). Effects of pulsed light on the organoleptic properties and shelf-life extension of pork and salmon. *Food Control*, 44, 138–145.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2014.03.052>
- Niemira, B. A. (2012). Cold plasma decontamination of foods *. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3(1), 125–142. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101132>
- Niemira, B. A. (2019). Regulatory status of cold plasma in food applications. In *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation* (pp. 341–349). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00013-X>
- Nwabor, O. F., Onyeaka, H., Miri, T., Obileke, K., Anumudu, C., & Hart, A. (2022). A Cold Plasma Technology for Ensuring the Microbiological Safety and Quality of Foods. *Food Engineering Reviews* 2022 14:4, 14(4), 535–554. <https://doi.org/10.1007/S12393-022-09316-0>
- Okpala, C. O. R. (2014). Investigation of quality attributes of ice-stored Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by sequential minimal ozone treatment. *LWT - Food Science and Technology*, 57(2), 538–547. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.02.007>
- Okpala, C. O. R., Bono, G., Geraci, M. L., Sardo, G., Vitale, S., & Schaschke, C. J. (2016). Lipid oxidation kinetics of ozone-processed shrimp during iced storage using peroxide value measurements. *Food Bioscience*,

16, 5–10. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2016.07.005>

Olatunde, O. O., Benjakul, S., & Vongkamjan, K. (2019). Combined effects of high voltage cold atmospheric plasma and antioxidants on the qualities and shelf-life of Asian sea bass slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 54, 113–122. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.03.012>

Olatunde, O. O., Shiekh, K. A., & Benjakul, S. (2021). Pros and cons of cold plasma technology as an alternative non-thermal processing technology in seafood industry. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 617–627. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.03.026>

Oms-Oliu, G., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2010). Pulsed light treatments for food preservation. A review. *Food and Bioprocess Technology*, 3 (1), 13–23. <https://doi.org/10.1007/S11947-008-0147-X/TABLES/2>

Onyeaka, H., Miri, T., Hart, A., Anumudu, C., & Nwabor, O. F. (2023). Application of Ultrasound Technology in Food Processing with emphasis on bacterial spores. *Food Reviews International*, 39 (7), 3663–3675. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2013255>

Ozer, N. P., & Demirci, A. (2006). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* inoculated on raw salmon fillets by pulsed UV-light treatment. *International Journal of Food Science & Technology*, 41 (4), 354–360. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2005.01071.X>

Ozon - FHI . (2019). <https://www.fhi.no/kl/luftforurensninger/luftkvalitet/temakapitler/ozon/?term=>

Palmieri, L., & Cacace, D. (2005). High Intensity Pulsed Light Technology. *Emerging Technologies for Food Processing*, 279–306. <https://doi.org/10.1016/B978-012676757-5/50013-X>

Pandiselvam, R., Singh, A., Agriopoulou, S., Sachadyn-Król, M., Aslam, R., Gonçalves Lima, C. M., Khanashyam, A. C., Kothakota, A., Atakan, O., Kumar, M., Mathanghi, S. K., & Mousavi Khaenegah, A. (2022). A comprehensive review of impacts of ozone treatment on textural properties in different food products. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 74–86. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.06.008>

Panpipat, W., & Chaijan, M. (2020). Effect of Atmospheric Pressure Cold Plasma on Biophysical Properties and Aggregation of Natural Actomyosin from Threadfin Bream (*Nemipterus bleekeri*). *Food and Bioprocess Technology*, 13 (5), 851–859. <https://doi.org/10.1007/S11947-020-02441-W/FIGURES/5>

Parish, M. E. (1997). Public Health and Nonpasteurized Fruit Juices. In *Critical Reviews in Microbiology* (Vol. 23, Issue 2).

Parish, M. E., Beuchat, L. R., Suslow, T. V., Harris, L. J., Garrett, E. H., Farber, J. N., & Busta, F. F. (2003). Methods to Reduce/Eliminate Pathogens from Fresh and Fresh-Cut Produce. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2 (1 SUPPL.), 161–173. <https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2003.TB00033.X>

Pataro, G., Muñoz, A., Palgan, I., Noci, F., Ferrari, G., & Lyng, J. G. (2011). Bacterial inactivation in fruit juices using a continuous flow Pulsed Light (PL) system. *Food Research International*, 44 (6), 1642–1648. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.04.048>

Patra, A., Prasath, V. A., Pandiselvam, R., Sutar, P. P., & Jeevarathinam, G. (2022). Effect of Plasma activated water (PAW) on physicochemical and functional properties of foods. *Food Control*, 142, 109268. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2022.109268>

Pedrós-Garrido, S., Condón-Abanto, S., Clemente, I., Beltrán, J. A., Lyng, J. G., Bolton, D., Brunton, N., &

- Whyte, P. (2018). Efficacy of ultraviolet light (UV-C) and pulsed light (PL) for the microbiological decontamination of raw salmon (*Salmo salar*) and food contact surface materials. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 50, 124–131. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2018.10.001>
- Pennisi, L., Di Clerico, D., Costantini, L., Festino, A. R., & Vergara, A. (2020). Ultrasonic decontamination in smoked salmon experimentally contaminated with *Listeria monocytogenes*: Preliminary results. *Italian Journal of Food Safety*, 9 (1). <https://doi.org/10.4081/ijfs.2020.8398>
- Perera, M. N., Abuladze, T., Li, M., Woolston, J., & Sulakvelidze, A. (2015). Bacteriophage cocktail significantly reduces or eliminates *Listeria monocytogenes* contamination on lettuce, apples, cheese, smoked salmon and frozen foods. *Food Microbiology*, 52, 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.06.006>
- Pérez-Andrés, J. M., de Alba, M., Harrison, S. M., Brunton, N. P., Cullen, P. J., & Tiwari, B. K. (2020). Effects of cold atmospheric plasma on mackerel lipid and protein oxidation during storage. *LWT*, 118, 108697. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.108697>
- Pietrysiak, E., Smith, S., & Ganjyal, G. M. (2019). Food Safety Interventions to Control *Listeria monocytogenes* in the Fresh Apple Packing Industry: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18 (6), 1705–1726. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12496>
- Re-Evaluation Decision Hydrogen Peroxide and Its Associated End-Use Products, Pub. L. No. RVD2018- 09 (2018).
- Porcellato, D., Aspholm, M., Skeie, S. B., Monshaugen, M., Brendehaug, J., & Mellegård, H. (2018). Microbial diversity of consumption milk during processing and storage. *International Journal of Food Microbiology*, 266, 21–30. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2017.11.004>
- Pouillot, R., Hoelzer, K., Chen, Y., & Dennis, S. B. (2015). *Listeria monocytogenes* Dose Response Revisited- Incorporating Adjustments for Variability in Strain Virulence and Host Susceptibility. *Risk Analysis*, 35 (1). <https://doi.org/10.1111/risa.12235>
- Qian, J., Wang, C., Zhuang, H., Nasiru, M. M., Zhang, J., & Yan, W. (2021). Evaluation of meat-quality and myofibrillar protein of chicken drumsticks treated with plasma-activated lactic acid as a novel sanitizer. *LWT*, 138, 110642. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110642>
- Qian, J., Yan, L., Ying, K., Luo, J., Zhuang, H., Yan, W., Zhang, J., & Zhao, Y. (2022). Plasma-activated water: A novel frozen meat thawing media for reducing microbial contamination on chicken and improving the characteristics of protein. *Food Chemistry*, 375. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131661>
- Raffellini, S., Guerrero, S., & Alzamora, S. M. (2008). EFFECT OF HYDROGEN PEROXIDE CONCENTRATION AND pH ON INACTIVATION KINETICS OF *ESCHERICHIA COLI*. *Journal of Food Safety*, 28 (4), 514–533. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4565.2008.00128.X>
- Raksakulthai, N., Aksnes, A., & Njaa, L. R. (1983). Effects of Hydrogen Peroxide and of Sulphite and Humidity on the Amino Acid Composition and Digestibility of Fish Protein. In *J. Sci. Food Agric* (Vol. 24).
- Ramos, B., Brandão, T. R. S., Teixeira, P., & Silva, C. L. M. (2020). Biopreservation approaches to reduce *Listeria monocytogenes* in fresh vegetables. *Food Microbiology*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103282>
- Ramos, B., Miller, F. A., Brandão, T. R. S., Teixeira, P., & Silva, C. L. M. (2013). Fresh fruits and vegetables—An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science & Emerging*

Technologies, 20, 1–15. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2013.07.002>

Rea, R., Hill, C., & Gahan, C. G. M. (2005). *Listeria monocytogenes* PerR Mutants Display a Small-Colony Phenotype, Increased Sensitivity to Hydrogen Peroxide, and Significantly Reduced Murine Virulence. *Applied and Environmental Microbiology*, 71 (12), 8314. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.12.8314-8322.2005>

Real Decreto 773/2023, de 3 de Octubre, Por El Que Se Regulan Los Tecnológicos Utilizados En Los Procesos de Elaboración Y de Alimentos (2023). <https://www.boe.es>

Ritota, M., & Manzi, P. (2020). Natural Preservatives from Plant in Cheese Making. *Animals* 2020, Vol. 10, Page 749, 10 (4), 749. <https://doi.org/10.3390/ANI10040749>

Robinson, B. R., & D'Amico, D. J. (2021). Hydrogen peroxide treatments for the control of *Listeria monocytogenes* on high-moisture soft cheese. *International Dairy Journal*, 114, 104931. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2020.104931>

Sapers, G. M., & Sites, J. E. (2003). Efficacy of 1% Hydrogen Peroxide Wash in Decontaminating Apples and Cantaloupe Melons. *Journal of Food Science*, 68 (5), 1793–1797. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2003.TB12331.X>

Saraiva, C., Fontes, M. C., Patarata, L., Martins, C., Cadavez, V., & Gonzales-Barron, U. (2016). Modelling the kinetics of *Listeria monocytogenes* in refrigerated fresh beef under different packaging atmospheres. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 664–671. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.11.026>

Schmid, B., Klumpp, J., Raimann, E., Loessner, M. J., Stephan, R., & Tasara, T. (2009). Role of cold shock proteins in growth of *Listeria monocytogenes* under cold and osmotic stress conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 75 (6), 1621–1627. <https://doi.org/10.1128/AEM.02154-08/ASSET/467C0E6A-D4A1-4ED8-9EAF-048A1EB7E895/ASSETS/GRAPHIC/ZAM0060997270003.JPEG>

Sen, A., & Imlay, J. A. (2021). How Microbes Defend Themselves From Incoming Hydrogen Peroxide. *Frontiers in Immunology*, 12, 667343. <https://doi.org/10.3389/FIMMU.2021.667343>

Shan, H., Gorczyca, E., Kasapis, S., & Lopata, A. (2010). Optimization of hydrogen-peroxide washing of common carp kamaboko using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 43 (5), 765–770. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2009.12.012>

Shanker, M. A., Khanashyam, A. C., Pandiselvam, R., Joshi, T. J., Thomas, P. E., Zhang, Y., Rustagi, S., Bharti, S., Thirumdas, R., Kumar, M., & Kothakota, A. (2023). Implications of cold plasma and plasma activated water on food texture- a review. *Food Control*, 151, 109793. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2023.109793>

Shi, C., & Maktabdar, M. (2022). Lactic Acid Bacteria as Biopreservation Against Spoilage Molds in Dairy Products – A Review. *Frontiers in Microbiology*, 12, 819684. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2021.819684/BIBTEX>

Shiekh, K. A., & Benjakul, S. (2020). Effect of high voltage cold atmospheric plasma processing on the quality and shelf-life of Pacific white shrimp treated with Chamuang leaf extract. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 102435. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2020.102435>

Shimajima, Y., Kanai, Y., Moriyama, T., Arakawa, S., Tamura, Y., Okada, Y., & Morita, Y. (2023). Environmental Monitoring of Food Manufacturing Facilities for *Listeria*: A Case Study. *Journal of Food Protection*, 86 (10), 100149. <https://doi.org/10.1016/J.JFP.2023.100149>

- Singh, V. P. (2018). Recent approaches in food bio-preservation - a review. *Open Veterinary Journal*, 8 (1), 104. <https://doi.org/10.4314/OVJ.V8I1.16>
- Sjöberg, L. B., & Boström, S. L. (1977). Studies in rats on the nutritional value of hydrogen peroxide-treated fish protein and the utilization of oxidized sulphur-amino acids. *British Journal of Nutrition*, 38 (2), 189–205. <https://doi.org/10.1079/BJN19770079>
- Skjerdal, T., Gangsei, L. E., Alvseike, O., Kausrud, K., De Cesare, A., Alexa, E. A., Alvarez-Ordóñez, A., Moen, L. H., Osland, A. M., From, C., Nordvik, B., Lindbäck, T., Kvello, J., Folgerø, B., Dommersnes, S., & Hauge, S. J. (2021). Development and validation of a regression model for *Listeria monocytogenes* growth in roast beefs. *Food Microbiology*, 98, 103770. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2021.103770>
- Sørensen, N. K., Højgaard, S., & Liltved, H. (2002). *Effekter av ozon i kjølt sjøvann*. www.fiskeriforskning.no
- Stearns, R., Freshour, A., & Shen, C. (2022). Literature review for applying peroxyacetic acid and/or hydrogen peroxide to control foodborne pathogens on food products. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100442. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2022.100442>
- Stupar, J., Hoel, S., Strømseth, S., Lerfall, J., Turid, R., & Jakobsen, A. N. (2023). Selection of lactic acid bacteria for biopreservation of salmon products applying processing-dependent growth kinetic parameters and antimicrobial mechanisms. *Heliyon*, 9(9), e19887. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2023.E19887>
- Stupar, J., Holøymoene, I. G., Hoel, S., Lerfall, J., Jakobsen, A. N., & Rustad, T. (2021). Diversity and Antimicrobial Activity towards *Listeria* spp. and *Escherichia coli* among Lactic Acid Bacteria Isolated from Ready-to-Eat Seafood. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 271, 10(2), 271. <https://doi.org/10.3390/FOODS10020271>
- Svanevik, C. S., Lunestad, B. T., & Storesund, J. (2021). *RAPPORT FRA HAVFORSKNINGEN NR. 2021-45 LISTERIA MONOCYTOGENES IN SALMONID SLAUGHTER FACILITIES Screening program for the Norwegian Food Safety Authority*.
- Taormina, P. J., & Beuchat, L. R. (2001). Survival and Heat Resistance of *Listeria monocytogenes* after Exposure to Alkali and Chlorine. *Applied and Environmental Microbiology*, 67 (6), 2555–2563. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.6.2555-2563.2001/ASSET/C2DC1DE3-9D5B-4DC8-9565-8B62C282F055/ASSETS/GRAPHIC/AM0611665001.JPEG>
- Tarr, H. L. A., & Sunderland, P. A. (1940). The Comparative Value of Preservatives for Fresh Fillets. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 5a (2), 148–163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1139/f40-015>
- Tezel, U., & Pavlostathis, S. G. (2015). Quaternary ammonium disinfectants: Microbial adaptation, Degradation and ecology. In *Current Opinion in Biotechnology* (Vol. 33, pp. 296–304). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2015.03.018>
- Thingstad, T. F., Pree, B., Giske, J., & Våge, S. (2015). What difference does it make if viruses are strain-, rather than species-specific? *Frontiers in Microbiology*, 6 (MAR), 128026. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2015.00320/BIBTEX>
- Thingstad, T. F., Vage, S., Storesund, J. E., Sandaa, R.-A., & Giske, J. (2014). A theoretical analysis of how strain-specific viruses can control microbial species diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111 (21). <https://doi.org/10.1073/pnas.1400909111>
- Thompson, T., Kilders, V., Widmar, N., & Ebner, P. (2024). Consumer acceptance of bacteriophage technology

- for microbial control. *Scientific Reports* 2024 14:1, 14 (1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75721-6>
- Toledo, R. T., Escher, F. E., & Ayres, J. C. (1973). Sporicidal Properties of Hydrogen Peroxide Against Food Spoilage Organisms. In *APPLIED MICROBIOLOGY* (Vol. 26, Issue 4). <https://journals.asm.org/journal/am>
- Tongnuanchan, P., & Benjakul, S. (2014). Essential Oils: Extraction, Bioactivities, and Their Uses for Food Preservation. *Journal of Food Science*, 79 (7), R1231–R1249. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12492>
- Trevisani, M., Berardinelli, A., Cevoli, C., Cecchini, M., Ragni, L., & Pasquali, F. (2017). Effects of sanitizing treatments with atmospheric cold plasma, SDS and lactic acid on verotoxin-producing *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* in red chicory (radicchio). *Food Control*, 78, 138–143. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2017.02.056>
- Ukuku, D. O., Bari, M. L., Kawamoto, S., & Isshiki, K. (2005). Use of hydrogen peroxide in combination with nisin, sodium lactate and citric acid for reducing transfer of bacterial pathogens from whole melon surfaces to fresh-cut pieces. *International Journal of Food Microbiology*, 104 (2), 225–233. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2005.01.016>
- Ukuku, D. O., Niemira, B. A., & Ukanalis, J. (2019). Nisin-based antimicrobial combination with cold plasma treatment inactivate *Listeria monocytogenes* on Granny Smith apples. *LWT*, 104, 120–127. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.12.049>
- U.S. Food and Drug Administration. (2022). *Title 21 - Food and drugs chapter I, Food and Drug Administration, Department of Health and Human Services, Subchapter B: Food for human consumption (continued), Part 179 Irradiation in the production, processing, and handling of food (21CFR179)*. <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-179>
- van der Meulen, B., & Ruggiero, M. A. (2018). *Food irradiation legislation in the EU – an evaluation*. New Food Magazine. <https://www.newfoodmagazine.com/article/98462/food-irradiation-legislation-in-the-eu/>
- Venkitanarayanan, K. S., Lin, C. M., Bailey, H., & Doyle, M. P. (2002). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella Enteritidis*, and *Listeria monocytogenes* on Apples, Oranges, and Tomatoes by Lactic Acid with Hydrogen Peroxide. *Journal of Food Protection*, 65 (1), 100–105. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-65.1.100>
- VKM, Skjerdal, T., Eckner, K., Kapperud, G., Lassen, J., Grahek-Ogden, D., Narvhus, J., Nesbakken, T., Robertson, L., Rosnes, J. T., Skjerve, E., Vold, L., & Wasteson, Y. (2018). *Listeria monocytogenes* - vurdering av helseråd til gravide og andre utsatte grupper.
- VKM, Taran Skjerdal, Marina Aspholm, Danica Grahek-Ogden, Solveig Jore, Georg Kapperud, Kjetil K. Melby, Mette Myrmel, Trond Møretrø, Truls Nesbakken, Lucy Robertson, & Norval Strachan. (2021). Risk ranking and source attribution of food-and waterborne pathogens for surveillance purposes - Opinion of the Panel on Biological Hazards of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment. *VKM Report*, 10.
- Walsh, R. J., White, B., Hunker, L., Leishman, O., Hilgren, J., & Klein, D. (2018). Peracetic Acid and Hydrogen Peroxide Post-dip Decay Kinetics on Red Meat and Poultry. In *Food Protection Trends* (Vol. 38, Issue 2).
- Wang, X., Wang, L., Wei, X., Xu, C., Cavender, G., Lin, W., & Sun, S. (2025). Invited review: Advances in yogurt development—Microbiological safety, quality, functionality, sensory evaluation, and consumer perceptions across different dairy and plant-based alternative sources. *Journal of Dairy Science*, 108 (1), 33–58. <https://doi.org/10.3168/JDS.2024-25322/ASSET/717FC724-AA7A-4878-9380-2F4444E0F275/MAIN.ASSETS/GR1.JPG>

- Wiernasz, N., Cornet, J., Cardinal, M., Pilet, M. F., Passerini, D., & Leroi, F. (2017). Lactic acid bacteria selection for biopreservation as a part of hurdle technology approach applied on seafood. *Frontiers in Marine Science*, 4(MAY), 258511. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2017.00119/BIBTEX>
- Wiernasz, N., Leroi, F., Chevalier, F., Cornet, J., Cardinal, M., Rohloff, J., Passerini, D., Skirnisdóttir, S., & Pilet, M. F. (2020). Salmon Gravlox Biopreservation With Lactic Acid Bacteria: A Polyphasic Approach to Assessing the Impact on Organoleptic Properties, Microbial Ecosystem and Volatilome Composition. *Frontiers in Microbiology*, 10, 496753. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2019.03103/BIBTEX>
- Williams, R. C., & Golden, D. A. (2001). Influence of modified atmospheric storage, lactic acid, and NaCl on survival of sublethally heat-injured *Listeria monocytogenes*. In *International Journal of Food Microbiology* (Vol. 64). www.elsevier.nl
- Xiang, Q., Fan, L., Li, Y., Dong, S., Li, K., & Bai, Y. (2022). A review on recent advances in plasma-activated water for food safety: current applications and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(8), 2250–2268. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1852173>
- Xiong, Z., Du, T., Lu, X., Cao, Y., & Pan, Y. (2011). How deep can plasma penetrate into a biofilm? *Applied Physics Letters*, 98(22). <https://doi.org/10.1063/1.3597622>
- Yang, H., Liu, Y., Nychas, G. J. E., Luo, X., Zhu, L., Mao, Y., Dong, P., & Zhang, Y. (2024). Utilizing lactic acid bacteria and their metabolites for controlling *Listeria monocytogenes* in meat products: Applications, limitations, and future perspectives. *Trends in Food Science and Technology*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104699>
- Zhang, X., Wang, S., Chen, X., & Qu, C. (2021). Review controlling *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meat and poultry products: An overview of outbreaks, current legislations, challenges, and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 24–35. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.07.014>
- Zhao, Y. M., de Alba, M., Sun, D. W., & Tiwari, B. (2018). Principles and recent applications of novel non-thermal processing technologies for the fish industry—a review. *https://Doi.Org/10.1080/10408398.2018.1495613*, 59(5), 728–742. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1495613>
- Zhao, Y. M., Ojha, S., Burgess, C. M., Sun, D. W., & Tiwari, B. K. (2020). Inactivation efficacy and mechanisms of plasma activated water on bacteria in planktonic state. *Journal of Applied Microbiology*, 129(5), 1248–1260. <https://doi.org/10.1111/JAM.14677>
- Zhao, Y. M., Oliveira, M., Burgess, C. M., Cromptova, J., Rustad, T., Sun, D. W., & Tiwari, B. K. (2021). Combined effects of ultrasound, plasma-activated water, and peracetic acid on decontamination of mackerel fillets. *LWT*, 150, 111957. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111957>
- Zhu, M., Du, M., Cordray, J., & Ahn, D. U. (2005). Control of *Listeria monocytogenes* Contamination in Ready-to-Eat Meat Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 4(2), 34–42. <https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2005.TB00071.X>
- Ziuzina, D., Boehm, D., Patil, S., Cullen, P. J., & Bourke, P. (2015). Cold Plasma Inactivation of Bacterial Biofilms and Reduction of Quorum Sensing Regulated Virulence Factors. *PLOS ONE*, 10(9), e0138209. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0138209>

Takk til

Vi ønsker å takke følgende personer og bedrifter/organisasjoner for å stille sin tid til disposisjon og dele av sine verdifulle erfaringer:

Ane-Marte Øye, Hofseth International, Ålesund

Randi Nordstoga, MOWI, Bergen

Simon Økland, Bremnes Seashore, Bømlo

Sissel Djuvik, Havline/Norwegian Gannet

Åsne Sangolt, Mattilsynet, Hovedkontoret, Seksjon for sjømat

Carl Johan Sandberg, Grieg Seafood, Bergen



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes

5817 Bergen

Tlf: 55 23 85 00

E-post: post@hi.no

www.hi.no