

MODUL 3: INNOVATIV BEARBEIDING AV FISKEAVFALL TIL BARF

Utviklet av:

Professor Jørgen Lerfall,
MSc Sine Marie Moen Kobbenes,
og førsteamanuensis Anita Nordeng Jakobsen

NTNU - Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for bioteknologi og matvitenskap,
Trondheim, Norge

Innhold

Sammendrag	1
1 Fiskeavfall - egenskaper og stabilitet	2
1.1 Næringssammensetning og sporstoffer	2
1.2 Forringelse av fisk: Autolytiske, mikrobielle og kjemiske forandringer	2
1.2.1 Enzymatisk autolyse	2
1.2.2 Mikrobiell vekst og metabolisme	4
1.2.3 Oksidasjonsreaksjoner	4
1.3 Trygghetsutfordringer	5
2 Fangstteknologi og håndtering om bord	5
2.1 Hygienisk design og rengjøringsprosedyrer	6
2.2 Kjøle- og frysesystemer om bord	6
2.2.1 Super- og subkjøling	7
2.2.2 Fryseteknologi	7
2.2.3 Tining av frossent avfall	9
2.3 Fermentering av fiskeavfall om bord	9
2.4 Forsuring om bord	9
3 Innovative prosesseringskonsepter	10
3.1 Barriereteknologi	10
3.2 Milde prosesseringsteknologier	10
4 BARF-prosesseringsteknologier	11
4.1 Fermentering og biokonservering	11
4.2 Tilsetningsstoffer	13
4.2.1 Organiske syrer	13
4.2.2 Naturlige ekstrakter	14
4.3 Tørking og frysetørking	14
4.3.1 Tørking i tunnel	15
4.3.2 Frysetørking	15
5 Emballasje	16
5.1 Emballasjeløsninger for kassert fisk (før den går inn i BARF-prosesseringsanlegget)	17
5.2 Emballasjeløsninger for BARF-produkter	17
Terminologi	19

Referanser	20
------------------	----

Sammendrag

Muligheten til å bruke fiskeavfall til å produsere biologisk egnet råfôr (BARF) avhenger i stor grad av råvarenes kvalitet, stabilitet, trygghet og ernæringsprofil. Denne modulen gir en oversikt over håndteringsprosedyrer, strategier og teknologier for å opprettholde eller forbedre disse parametrene. Modulen er delt inn i fem kapitler som følger verdikjeden for råstoffet (kassert fisk) fra fangst til et verdifullt råstoff for BARF-produksjon. Først diskuteres kort råvarenes egenskaper og stabilitet. Denne delen tar for seg ernæringsmessig sammensetning, forringelse og utfordringer knyttet til mattrygghet. For det andre presenteres forhold knyttet til fangstteknologi og håndtering om bord, og hvordan disse parametrene kan forbedres. Denne delen belyser betydningen av riktig kjøling og kjølesystemer for å opprettholde kvaliteten på råvarene. Kapittel tre og fire tar for seg prosesseringskonsepter som øker råstoffet og sluttproduktets kvalitet og stabilitet. I kapittel tre diskuteres nye konsepter, inkludert implementering av barriereteknologi. Kommersielle teknologiske anvendelser av BARF-produksjon presenteres i kapittel fire. Til slutt, i kapittel fem, presenteres emballasjekonsepter for hele verdikjeden, både bulkkonsepter som kan brukes til distribusjon av råstoffet (kassert fisk), og forbrukervennlige konsepter for distribusjon av det ferdige BARF-produktet.

1 Fiskeavfall - egenskaper og stabilitet

1.1 Næringssammensetning og sporstoffer

Fisk er en kilde til proteiner og sunne lipider, men også en unik kilde til essensielle næringsstoffer. Den kjeiske sammensetningen varierer fra art til art, og fet fisk kan ha store sesongvariasjoner på grunn av tilgjengelige næringsstoffer og gytesesongen. Fisk består imidlertid vanligvis av 70-84 % vann, 15-24 % protein, 0,1-22 % fett, 1-2 % mineraler og 0,1-1 % karbohydrater. [1]. Marine fiskearter inneholder en høy andel flerumettede fettsyrer (PUFA), nemlig EPA (eikosapentaensyre) og DHA (dokosaheksaensyre), som er viktige for dyrenes helse og for at valpene skal vokse som de skal.

I tillegg til en utmerket fordeling av proteiner og lipider inneholder fisk mineraler som jod, kalsium, jern, sink, selen og fosfor samt vitamin B, D, A og K. [2]. Fiskeprotein regnes som lettfordøyelig og inneholder alle essensielle aminosyrer. Selv om inntak av fisk har mange fordeler, er det også en kilde til kjemiske og ernæringsmessige forurensninger. Fet fisk akkumulerer tungmetaller og miljøgifter som kan være problematiske. Nivåene er imidlertid ofte lave, og det er bare i forurensede områder og under spesifikke forhold at de påviste verdiene er høyere enn grenseverdiene fastsatt av myndighetene. En risikofaktor som har blitt fremhevet i det nordøstlige Middelhavet, er innholdet av Arsen (As) i viltfanget fisk. [3]. Til tross for at det er observert en viss risiko ved inntak av fisk, oppveies denne i stor grad av fordelene. [2].

1.2 Forringelse av fisk: Autolytiske, mikrobielle og kjemiske forandringer

Kvalitetsforringelse av fisk skjer gjennom hele verdikjeden, fra slakting, bearbeiding, distribusjon og lagring. Fiskeråstoffet er svært lett bederelig på grunn av høy pH etter slakting og et næringsinnhold som fremmer mikrobiologisk vekst. Forringelse av fisk er basert på tre mekanismer: (1) enzymatisk autolyse post mortem, (2) mikrobiell vekst og metabolisme og (3) oksidasjonsreaksjoner [4, 5].

1.2.1 Enzymatisk autolyse

Når fisken dør, skyldes det første tapet av ferskhet autolytiske reaksjoner katalysert av endogene enzymer (tabell 1). Post mortem-glykolysen fører til akkumulering av melkesyre, noe som senker pH-verdien i muskelen. Nivået avhenger også av mengden glykogen i vevet på død tidspunktet og av fiskeart. Stresst fisk har et lavt nivå og vil gi en lavere pH-reduksjon. Videre er autolytisk nedbrytning av adenosintrifosfat (ATP), cellens "energivaluta", en av de første autolytiske endringene som skjer etter fiskedød, noe som resulterer i en kaskade av enzymatiske reaksjoner og ATP-nedbrytningsprodukter, forenklet ATP → adenosindifosfat (ADP) → adenosinmonofosfat (AMP) → inosinmonofosfat (IMP) → inosin (HxR) → hypoxantin (Hx) [6]. Nedbrytning av IMP er relatert til tap av ferskhet, og spesielt Hx er relatert til kvalitetsforringelse og bitter smak.

Autolytiske prosesser omfatter også proteolytiske reaksjoner der proteiner spaltes til peptider og frie aminosyrer. Proteolytiske reaksjoner fører til oppmykning og strukturendringer i fiskevevet. [7]. Eksempler på proteaser som bidrar til nedbrytning av fiskevev, er cathepsiner, calpainer og kollagenaser.

Tabell 1. Autolytiske, mikrobielle og oksidative endringer i kjølt fisk(modifisert etter Speranza, Racioppo [4], Huss [8], Bozaris and Parlapani [9])

Type fiskeforringelse	Årsaker	Endringer
Endogen (autolyse)	Glykolytiske enzymer	Produksjon av melkesyre, pH-verdien i vevet synker, tap av vannholdende evne i musklene. Rigor ved høy temperatur kan føre til gapende hull.
	Enzymer som er involvert i nedbrytning av nukleotider	Tap av fersk fiskesmak, gradvis utvikling av bitterhet med hypoxanthin (Hx) (senere stadier).
	Kathepsiner	Bløtgjøring av vevet, noe som vanskeliggjør eller umuliggjør bearbeiding.
	Chymotrypsin, trypsin, karboksypeptidaser	Autolyse av innvollshulen hos pelagisk fisk (belly-bursting)
	Calpain	Bløtgjøring, smelteindusert bløtgjøring hos krepsdyr
	Kollagenaser	"Gaping" eller mykgjøring av fileten
	TMAO-demetylase	Formaldehydindusert forherding av frossen gadoidfisk
Mikrobiell	Generell endogen aktivitet	Misfarging (svart, gulaktig, brunaktig, bleking) og hydrolytisk oksidasjon (akkumulering av frie fettsyrer)
	<i>Shewanella</i> ^a	TMA, hydrogensvovelforbindelser, Hx
	<i>Pseudomonas</i> spp.	NH ₃ , estere og svovelforbindelser, men ikke H ₂ S
	<i>Photobacterium phosphoreum</i> ^b	TMA, estere, alkoholer, ketoner, biogene aminer
	Melkesyrebakterier (LAB) og <i>brochotrix thermosphacta</i> ^c	Eddiksyre, NH ₃ , tyramin, acetoin, diacetyl, H ₂ S
	<i>Aeromonas</i> spp, <i>Vibrio</i> spp, <i>Photobacterium</i> spp. og <i>Enterobacteriaceae</i> . ^d	TMA, svovelforbindelser og biogene aminer
	LAB, og <i>brochotrix thermosphacta</i> ^e	Eddiksyre, NH ₃ , tyramin, acetoin, diacetyl, svovelforbindelser
Kjemisk	Vekst av mikroorganismer, generell mikrobiell enzymatisk aktivitet	Tap av saftighet, fast tekstur, misfarging, opphopning av frie fettsyrer.
	Oksidativ harskning	Harsk smak og lukt, strukturforandringer
	Ikke-enzymatisk oksidasjon	Misfarging

^a H₂S-produserende *Shewanella*

^b TMA-holdige arter fra sjøvann ved temperaturer under 15 °C

^c Arter fra varmere farvann, spesielt arter med lite eller ingen TMAO.

^d Ferske og lett konserverte produkter som oppbevares ved omgivelsestemperaturer

^e Lett konserverte og kjølte produkter

1.2.2 Mikrobiell vekst og metabolisme

Mikroorganismer er hovedårsaken til at fisk forringes. Fiskens har naturlig forekommende mikroorganismer i skinn, gjeller og fordøyelseskanal. Sammensetningen av den stedegne mikrobiotaen i fersk sjømat påvirkes av geografisk opprinnelse, vannets sammensetning og temperatur, art og fangstmetode. Fisk fra tempererte eller varme farvann inneholder aerobe eller fakultativt aerobe mesofile gramnegative (*Pseudomonas* spp., *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Xanthomonas* og *Vibrio*) og grampositive bakteriearter (*Bacillus*, *Corynebacterium*, *Micrococcus* og *Lactobacillus*). I kaldt vann dominerer psykrofile og psykrotrofe Gram-negative mikroorganismer som *Photobacterium*, *Shewanella*, *Psychrobacter* og *Pseudomonas*. Det er imidlertid også vanlig å finne flere Gram-positive slekter [9]. Den eksogene mikrobiotaen stammer fra kontaminering etter høsting, under håndtering om bord og gjennom hele verdikjeden. Det er flere faktorer som påvirker den mikrobielle holdbarheten, blant annet fangstmetoder, miljøforhold på fangststedet, fiskeart, håndtering om bord og hygieniske forhold, samt videreføring og lagringsforhold. Temperaturkontroll gjennom hele verdikjeden er avgjørende for å hindre mikrobiell utvikling i råstoffet. [9].

Den mikrobielle metabolismen fører til nedbrytning av næringsstoffer og produksjon av spesifikke metabolitter som forårsaker ubehagelig og uakseptabel bismak og lukt, misfarging, slimproduksjon og teksturendringer (tabell 1) [4]. Disse metabolittene produseres av et begrenset antall mikroorganismer, ofte kjent som spesifikke forringelses mikroorganismer [9].

En ubehagelig "fiskelukt" skyldes ofte trimetylamin (TMA), som produseres i fisk på grunn av nedbrytning av trimetylaminoksid (TMAO) [10]. TMA kjennetegnes av en ammoniakklignende bismak og produseres under anaerobe forhold av spesifikke forringelsesorganismer som *Shewanella putrefaciens*, *Aeromonas* spp, *Enterobacteriaceae*, *Photobacterium phosphoreum*, *Vibrio* spp, *Micrococcus*, *Acinetobacter* og *Moraxella*. Andre forbindelser som produseres og forårsaker ubehagelig lukt, er organiske syrer, alkoholer, aldehyder, aminer, ketoner, sulfider, ammoniakk og hydrogensulfid (tabell 1) [9].

Andre biogene aminer produseres gjennom mikrobiell dekarboksylering, blant annet histamin, putrescin, kadaverin, spermidin og spermin. Endogene enzymer kan også produsere biogene aminer, men det er den nåværende mikrobiotaen som produserer de fleste. Mikroorganismer som er involvert i histamindannelse, er *P. phosphoreum*, *Enterobacteriaceae* og *Pseudomonadaceae*.

1.2.3 Oksidasjonsreaksjoner

Fisk er en rik kilde til flerumettede fettsyrer som dessverre er svært utsatt for nedbrytningsprosesser, for eksempel oksidasjon. Oksidasjonsprosessene i fisk fremskyndes hvis råstoffet utsettes for høye temperaturer, luft (oksygen) og UV-lys. [11]. I tillegg kan intensiv håndtering som ødelegger muskelmembranen, føre til at lipidfraksjonen eksponeres for oksygen og dermed oksiderer. Oksidasjon fører til harsk bismak. Generelt er lipidoksidasjon mer uttalt i fiskekjøttdeig enn i intakt muskel på grunn av en større kontaktflate mellom lipider og oksygen. Fjerning av blod er nært knyttet til kvalitetsforringelse av fiskemuskelen, spesielt lipidoksidasjon. Blod er en prooksidant, og fiskeråstoffet kan stabiliseres ved å inkludere en bløggingsoperasjon om bord [11]. Det er viktig å påpeke at ulike arter og muskeltyper har ulikt innhold av hemoglobin/myoglobin (de aktive prooksidantene i blodet) og lipider, og dermed også ulik mottakelighet for oksidasjon. Oksidasjonsprosessene er svært temperaturavhengige, og frysing ved svært lave temperaturer (-30 til -40 °C) kan stabilisere råstoffet.

1.3 Trygghetsutfordringer

Risikoen for mikrobiell og kjemisk forurensning av fiskeråstoff anses generelt å være høyere i ferskvanns- og kystområder enn i åpent hav, men biologiske og kjemiske sikkerhetsproblemer varierer mellom regioner, habitater og fiskearter. I tillegg varierer de biologiske og kjemiske sikkerhetsproblemene fra region til region, fra habitat til habitat og fra fiskeart til fiskeart, og de varierer avhengig av produksjons- og forvaltningspraksis, inkludert hygienisk utforming og forvaltning, i ulike verdikjeder. Biosikkerhetshygiene og EU-lovgivning for bearbeiding av utkast og sluttprodukter diskuteres i modul 5.

2 Fangstteknologi og håndtering om bord

Uønsket fangst har vært en av hovedutfordringene i fiskeriene, og defineres som den delen av fangsten som ikke kan omsettes fordi den har liten eller ingen markedsverdi eller på grunn av juridiske krav [12, 13]. Alle disse kommersielle og ikke-kommersielle ressursene som returneres til havet under kommersielle fiskeoperasjoner, døde eller levende, kalles utkast [14]. Som fremhevet av [15] finnes det flere grunner til at fisk kastes over bord, blant annet at noen individer kan være under den lovbestemte minste bevaringsmessige referankestørrelsen, at de kommer fra arter som har lav eller ingen markedsverdi, at de er skadet, eller at kvoten for denne arten er nådd. Den kan derfor ikke landes fra et regulatorisk perspektiv. Selv om praksisen med utkast kan tilskrives sosiale, økonomiske og lovgivningsmessige årsaker, er en av de grunnleggende årsakene bruk av uselektiv fisketeknologi kombinert med miljøfaktorer som påvirker artenes utbredelse [16]. Omfanget av utkast er svært fiskeriavhengig, og det har vært spesielt utfordrende i bunntålfiske etter blandede arter, som i dag står for mesteparten av utkastene, i hvert fall i europeisk sammenheng [16, 17]. Flere land, deriblant Norge, Island, Chile og New Zealand, har tidligere innført utkastforbud. EUs landingsforpliktelse, også kjent som utkastforbudet, ble fullt ut implementert i begynnelsen av 2019 i forbindelse med den siste reformen av den felles fiskeripolitikken (EU 2013, artikkel 5). Et av målene med dette forbudet er å utvikle og ta i bruk mer selektive redskaper. Fra et fangstteknologisk perspektiv har økt selektivitet vært den viktigste drivkraften for innovasjon, noe som har redusert mengden bifangst og mengden fisk som kastes over bord.

Selv om fiskefartøyene er beregnet på å fange fisk, er realiteten at de også må sørge for tilstrekkelige forhold for bearbeiding og akseptable forhold i kjølekjeden frem til fisken landes. Kapasiteten i disse systemene må også tilpasses slik at de har kapasitet til å håndtere utkast og restråstoff generelt. Det totale antallet fiskefartøyer i verden er anslått til 4,4 millioner, mer enn 80 % er mindre enn 12 m lange, og industrialiserte fiskefartøyer på 24 m eller mer utgjør 2 % av alle motoriserte fiskefartøyer [18]. Blant disse vil de fleste mellomstore og store kommersielle fartøyene (12-24 m) som skal ut på mellomlange turer (rundt to ukers turer) ha kjøletanker for sjøvann og ismaskiner om bord, mens bare store, industrialiserte fartøy (>24 m) som skal ut på lange turer vil ha frysekapasitet. Avhengig av arten som fanges og prosessene som brukes, vil disse store industrialiserte fartøyene ha ulike typer hurtigfrysere, platefrysere, kjøletanker for sjøvann og ismaskiner. [19].

Frysetrålere er vanligvis store kommersielle fiskefartøy som opererer langt fra land og har fryseutstyr om bord. Frysetunneler (luftblåsing), platefrysere og frysetanker (nedsenking i saltløsning og lav temperatur) er de mest brukte innfrysingssystemene om bord på foredlingsfartøyene. Blant disse kan frysetunneler være det beste alternativet for fisk som kastes. Frysetanker (nedsenking i saltløsning og lav temperatur)

brukes ofte til stor hel fisk og til pelagisk fisk som brukes til agn [20]. I en platefryser fryses sjømatprodukter, for eksempel fileter, ved at de kommer i kontakt mellom to plater med et visst trykk.

2.1 Hygienisk design og rengjøringsprosedyrer

Hygienisk design om bord på fiskefartøy er avgjørende for å sikre høy kvalitet og mattrygghet for råvarene som tilberedes om bord. Det er skipperen og fartøyets operatør/eier som har ansvaret for å sikre at fartøyet oppfyller kravene og tilbyr et hygienisk miljø for fiskeforedling. Seafish har i samarbeid med Food Standards Agency (FSA) og representanter for bransjen og myndighetene utarbeidet flere hygienesjekklistre for å kontrollere om fiskefartøyene oppfyller minimumskravene til hygiene. Hygienekravene om bord på fiskefartøy er nedfelt i ulike forskrifter og retningslinjer. EU har for eksempel et direktiv (direktiv 93/103/EF) som fastsetter minimumskrav til sikkerhet og helse ved arbeid om bord på fiskefartøy. Disse kravene omfatter blant annet regelmessige myndighetskontroller, teknisk vedlikehold av skip og deres innredning og utstyr, regelmessig rengjøring for å opprettholde et passende hygienenivå og egnet opplæring for arbeidstakere i sikkerhet og helse om bord på fartøyer og forebygging av ulykker. [21].

Rengjøringsprosedyrer på fiskefartøyer er avgjørende for å opprettholde et passende hygienenivå og forhindre råstoffkontaminering. Noen av de anbefalte rengjøringsprosedyrer omfatter daglig rengjøring og desinfeksjon av landingsområdet, alle overflater og kjølesystemet (f.eks. våtisholderen, slurrysystemet eller tanken for nedkjølt sjøvann (RSW)/kjølt sjøvann (CSW)) med egnede rengjøringsmidler. Valget av rengjørings- og desinfeksjonsmidler avhenger av det spesifikke bruksområdet og må velges ut fra de spesifikke behovene. For å effektivt fjerne biofilm, slik som den som dannes i fiskeforedlingsanlegg, er det for eksempel bedre å bruke klorerte produkter som klorerte alkaliske og natriumhypoklorittløsninger eller en kombinasjon av sure og alkaliske rengjøringsmidler [22]. Det er også viktig at alt håndteringsutstyr rengjøres skikkelig før og etter bruk (inkludert kniver, sliperedskaper, gaffer og spikerredskaper).

2.2 Kjøle- og frysesystemer om bord

Kjølesystemer om bord brukes i fiskeindustrien for å holde fisken fersk og bevare kvaliteten. Kjøleprosessen om bord må være hygienisk og håndtere en energifjerning som er proporsjonal med trålnes fiskekapasitet. For å optimalisere systemets kjøleprosess og temperaturkontroll må det tas hensyn til varierende fiskestørrelse og mengde/strøm [23]. Tre metoder brukes i kjølekjeden: lagring av fisken på is (hentet fra land eller produsert om bord), kjøling i RSW-tanker og innfrysing i blokker i platefrysere. Noen få fartøy har også hurtigfrysere for enkeltfryste fileter [24]. Disse fryseboksene kan også brukes til stabilisering av kassert fisk hvis det utvikles et marked for denne fraksjonen (f.eks. interessen blant produsenter av BARF-dyrmat).

For mindre fiskefartøy er is det vanligste kjølemiddelet. Andre standarder er kjølt vann, isslurry (av både sjøvann og ferskvann) og RSW. For at fordelene ved kjøling skal kunne utnyttes fullt ut, er det viktig å opprettholde kjøletemperaturen gjennom hele fiskehåndteringen [25]. Tradisjonell kjøling av et produkt er avhengig av at det ikke oppstår frysing på overflaten, noe som resulterer i ineffektiv varmekjerning. Denne prosessen blir enda mer omfattende for større produkter på grunn av lav varmeledningsevne og lav varmeledningsevne, noe som gjør prosessen svært energikrevende og ikke minst tidkrevende [26].

2.2.1 Super- og subkjøling

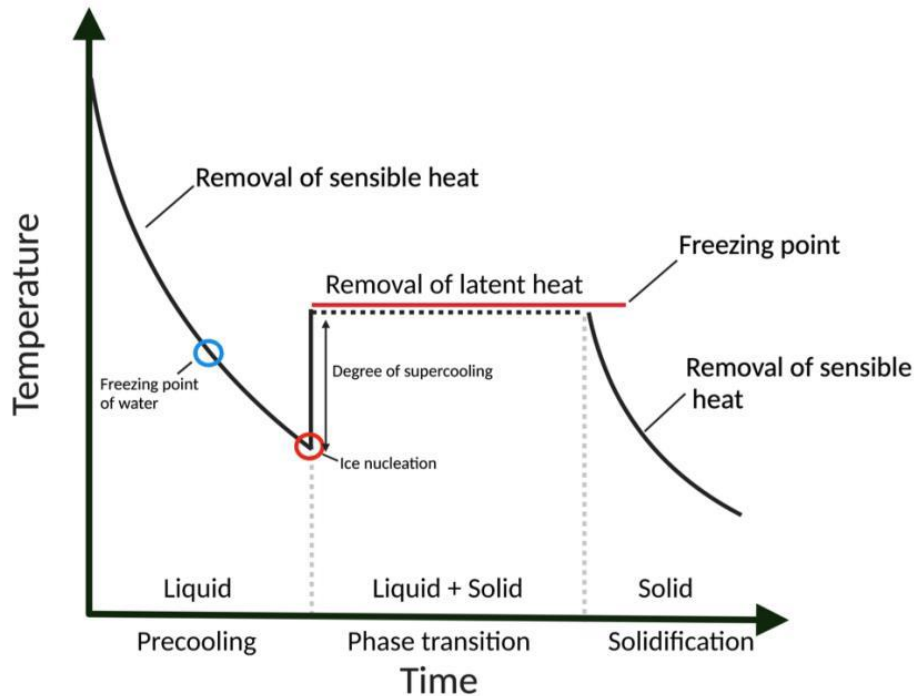
Superkjøling er en prosess der produktets temperatur senkes til 1-2 °C under det opprinnelige frysepunktet (for fisk mellom -1 og -2 °C) [27, 28]. I motsetning til dette refererer subkjøling til temperaturer nær det opprinnelige frysepunktet, men ikke under. Typiske temperaturer som oppnås med subkjølingssystemer, ligger mellom -0,5 og -1,5 °C. Disse definisjonene brukes ofte om hverandre, men superkjølte produkter får vanligvis lavere temperaturer enn subkjølte produkter. Ved begge prosedyrene dannes det is på fiskens overflate, som leder varme fra fiskens indre til dens ytre, og som til slutt når en likevekt under lagringen. [29]. Denne overflateisen fungerer også som et kuldereservoar, og behovet for utvendig is unngås. Isen absorberer også varme fra omgivelsene og holder fisken på en stabil temperatur. Ved superkjøling eller subkjøling av fisken opphører den enzymatiske og bakterielle aktiviteten, og hemming av mikrobiell vekst er en av de viktigste faktorene for å øke holdbarheten til matvarer. Det er rapportert at holdbarheten til fisk som er superkjølt, kan forlenges med 1,5-4 ganger sammenlignet med samme matvare som bare er kjølt. [27, 30]. Det finnes flere subkjølingsmetoder, blant annet RSW-slurry, delvis isdannelse, CSW, impingement og nitrogenfrysing. RSW er en is-vann-suspensjon som holdes ved minusgrader med ispartikler omgitt av sjøvann. Fordelene er blant annet raskere nedkjøling på grunn av raskere varmeveksling og mindre fysisk skade på fisken enn flakis, siden ispartiklene ikke er i direkte kontakt med hverandre. Sjøvannet må være tilstrekkelig salt for å oppnå en lav nok temperatur. Derfor tilsettes ofte overflødig salt til RSW-systemet. [31]. En nyere teknikk er frysetunnelen. Fisken plasseres på et teflonbelagt aluminiumsbånd som holder en temperatur på -8 til -6 °C, og kald luft blåses gjennom tunnelen mens den transporteres. En annen standard superkjølingsmetode er innfrysing med impingement. Denne fryseren er delt inn i soner fra -30 °C til -40 °C, der sonen nærmest innløpet er varmest, og området nærmest utløpet er kaldest. Dette gir maksimal termodynamisk utnyttelse av kjølemediet. Sonene har også uavhengige stråler, noe som gjør at luft med maksimal hastighet gir maksimal varmeoverføring. Salvadori and Mascheroni [32] rapporterte at behandlingstiden i en impingementfryser var kortere enn i en konvensjonell båndtunnelfryser, noe som gjør impingementfrysing til en lovende måte å konservere fiskeprodukter på. Superkjøling ved hjelp av impingementfrysing tar ca. 45-90 sekunder. Dette avhenger imidlertid av forholdet mellom overflatearealet og det totale prøvolumet.

Under- og superkjølte forhold har potensial til å stabilisere fisk som kastes gjennom ulike mekanismer, blant annet redusert autolytisk aktivitet og hydrolytisk oksidasjon (redusert temperatur senker virkningen av endogene enzymer), samt redusert vekst av fordervelsesbakterier.

2.2.2 Fryseteknologi

Frysing er prosessen der vannet omdannes til is. I fisk bremser denne prosessen endogen enzymaktivitet som ellers ville ha brutt ned proteiner, og hemmer mikrobiell vekst, noe som til slutt forlenger fiskens holdbarhet [33]. Fisk inneholder mellom 60 og 80 % vann, avhengig av art og sesongvariasjoner [1]. Når temperaturen inne i fisken når ca. -1 °C, begynner vannet å gå fra å være flytende til å bli fast [28]. Prosessen kan deles inn i fire faser, som vist i figur 1. De fire fasene kan beskrives som: i) følbare varme fjernes fra produktet til produktet når sin opprinnelige frysetemperatur, ii) avkjølingen fortsetter til temperaturen passerer faseskiftetemperaturen, og dannelsen av iskrystaller starter (superkjølingsfasen), iii) latent varme fjernes, og iskrystaller begynner å dannes samtidig, og til slutt, iv) omkrystallisering av iskrystaller skjer [33]. Frysing er en eksoterm prosess, og ettersom mesteparten av vannet blir til

iskrystaller, må overskuddsvarmen fjernes fra fisken, og avhengig av hvilken frysemetode som brukes, kan denne prosessen gå raskt eller langsomt [28].



Figur 1. Tid-temperatur-grafen for frysing av vann er modifisert fra Tan, Mei [33].

Frysehastigheten er avgjørende for dannelsen av iskrystaller. En rask temperatursenkning og rask fjerning av latent varme fremmer veksten av mange små iskrystaller [34]. Når disse kriteriene er oppfylt, dannes det små iskrystaller både i sarkoplasmaet og det ekstracellulære rommet, noe som skaper motsatte krefter som resulterer i jevn avstand. Dette fører ikke til omfattende skader på muskelcellene. Langsom nedfrysing fører derimot til større strukturelle skader på muskelstrukturen, noe som resulterer i drypptap, proteindenaturering og fargeforandringer [33]. Iskrystallene ved langsom frysing dannes i et uregelmessig mønster. Dette karakteristiske trekket kan observeres i myofibrene og endomysium, og forstyrrer tilfeldige forhold. Rekrystallisering er når allerede dannede iskrystaller endrer form, størrelse og mengde, og når den gjennomsnittlige størrelsen på iskrystallene øker, reduseres mengden iskrystaller. Drivkraften er at alle systemer har en tendens til å redusere mengden fri energi. Rekrystallisering skyldes temperatursvingninger, noe som ofte er uunngåelig under lagring og transport, og når de mindre iskrystallene smelter sammen, dannes det større iskrystaller. Som nevnt gjør større iskrystaller større skade på cellestrukturene enn mindre iskrystaller, noe som ikke er ønskelig.

Frysing av fisk som kastes, vil være gunstig for å forbedre stabiliteten og maksimere potensialet for bruk i BARF. Det er imidlertid flere tiltak som må vurderes før og under fryselagring for å opprettholde kvaliteten på fisken. For det første må den kasserte fisken håndteres om bord som en fersk vare, noe som betyr at den må bløgges og kjøles ned tilstrekkelig. For det andre må fisken fryses så raskt som mulig ved hjelp av egnet fryseteknologi. Hvis det er mulig, bør fisken enten superkjøles eller fryses til sjøs (pre-rigor), f.eks. ved hjelp av de samme innfrysingssystemene som for hurtigfrost fileten. Når fisken er fryst, må

lagringstemperaturen holdes stabil for å unngå omkrystallisering og tap av kvalitet og næringsstoffer under tining.

2.2.3 Tining av frossent avfall

Tining praktiseres ikke på land, men er et viktig trinn i behandlingen av sjøfryst fiskeavfall før videreforedling til BARF. Tiningsprosessen er i hovedsak det motsatte av frysing; varme tilføres i stedet for å trekkes ut [35]. Når produktet er klart for tining, smelter iskrystallene som er dannet under frysingen. Fiskeproteinene vil da forsøke å absorbere vannet igjen hvis vevet har blitt minimalt ødelagt. Muskelproteinene kan imidlertid ha blitt denaturert på grunn av frysingen. I så fall vil iskrystallene smelte inn i det ekstracellulære rommet og gi mykere tekstur, drypptap og smaksendringer [36]. Drypptap innebærer tap av næringsstoffer ettersom vannløselige proteiner forblir i vannet som frigjøres under tining, noe som resulterer i redusert kjøttkvalitet.

Den nødvendige tiningstiden avhenger hovedsakelig av temperaturforskjellen mellom tiningsmediet og produktet og egenskapene til is og vann. Når fisk er frosset, dannes det som nevnt et islag på overflaten som effektivt overfører varme på grunn av isens varmeledningsevne. Når dette laget smelter, fungerer det som en isolator i stedet for en varmeleder, noe som forsinker tineprosessen betraktelig. Dette smeltede laget vil gjøre tineprosessen langsommere og langsommere etter hvert som mer vann smelter. På grunn av dette er det vanskeligere å kontrollere og forutsi tineprosessen enn fryseprosessen [35].

Uønsket proteindenaturering på grunn av dårlig håndtering før innfrysing og utilstrekkelige fryse-, lagrings- og tineforhold krever oppmerksomhet for å kunne bruke disse råvarene som BARF. Ved å optimalisere de spesifikke protokollene bør det imidlertid være mulig å bruke frosne råvarer til produksjon av BARF.

2.3 Fermentering av fiskeavfall om bord

Bulkfermentering av fiskeavfall med melkesyrebakterier (LAB) er en mulig strategi for å konservere råstoffet før landing og videre produksjon til BARF. LAB-fermentering i industrielle applikasjoner skjer ved spontanfermentering eller ved å tilsette startkulturer. Arter av *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus* og *Leuconostoc* er de mest brukte LAB-artene i kommersielle startkulturer. Fra et økonomisk, miljømessig og dyrevelferdsmessig perspektiv er det av stor interesse å oppnå en stabil og forutsigbar mikrobiell populasjon i fôret, noe som kan oppnås ved å utvikle startkulturer. Fermentering og biokonservering som strategi for stabilisering av BARF-produkter vil bli diskutert nærmere i kapittel 4.1. Fermentering og biokonservering.

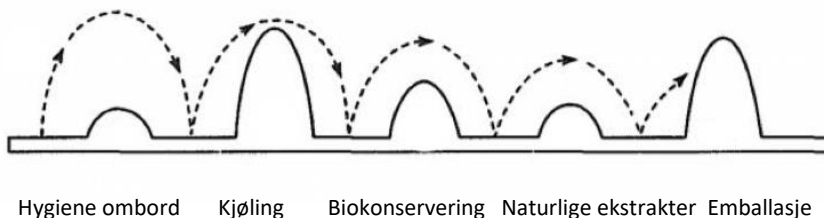
2.4 Forsuring om bord

Forsuring eller ensilering av fisk som kastes, kan være en løsning for å forbedre stabiliteten til råstoffet før BARF-produksjon etter landing. Fiskeensilasje er et flytende produkt laget av hel fisk eller deler av fisk som blir gjort flytende ved hjelp av enzymer i fisken og tilsatt syre. Enzymene bryter ned fiskeproteiner til mindre, løselige enheter, og syren bidrar til å fremskynde enzymaktiviteten samtidig som den forhindrer bakteriell ødeleggelse. Ved produksjon av fiskeensilasje brukes fortrinnsvis organisk syre som maursyre (35 kg/1 tonn fisk) for å konservere fisken, slik at enzymene som allerede finnes i fisken, kan gjøre proteinet flytende. Ved videreforedling til BARF kan ensilasjen erstatte ubehandlet, kassert fisk eller brukes som et produkt i seg selv. Spesifikke kvitteringer må imidlertid utvikles basert på hvilket produkt som er av interesse.

3 Innovative prosesseringskonsepter

3.1 Barriereteknologi

Mange tradisjonelle eller innovative prosesseringsteknologier kan hemme mikrobiell vekst og opprettholde mat- og fôrkvaliteten, for eksempel kjøling, salting, tilsetning av tilsetningsstoffer og biokonservering (figur 2). Disse metodene kan kombineres, et konsept som kalles barriereteknologi [37]. Hver av prosesseringsparametrene omtales som en barriere. Rasjonalet bak barrierekonseptet, der man kombinerer flere antimikrobielle faktorer med moderat intensitet, er at det kan oppstå synergieffekter ved at de uønskede mikroorganismene utsettes for en rekke hindringer, noe som resulterer i en høyere konserveringseffekt enn ved bruk av én faktor alene med økt intensitet. En synergistisk effekt oppstår hvis hindringene treffer forskjellige mål samtidig, for eksempel mikrobielle cellemembraner, DNA, enzymer osv. En hensiktsmessig kombinasjon av flere antimikrobielle faktorer kan redusere intensiteten av hvert enkelt element og dermed redusere effekten på produktkvaliteten.

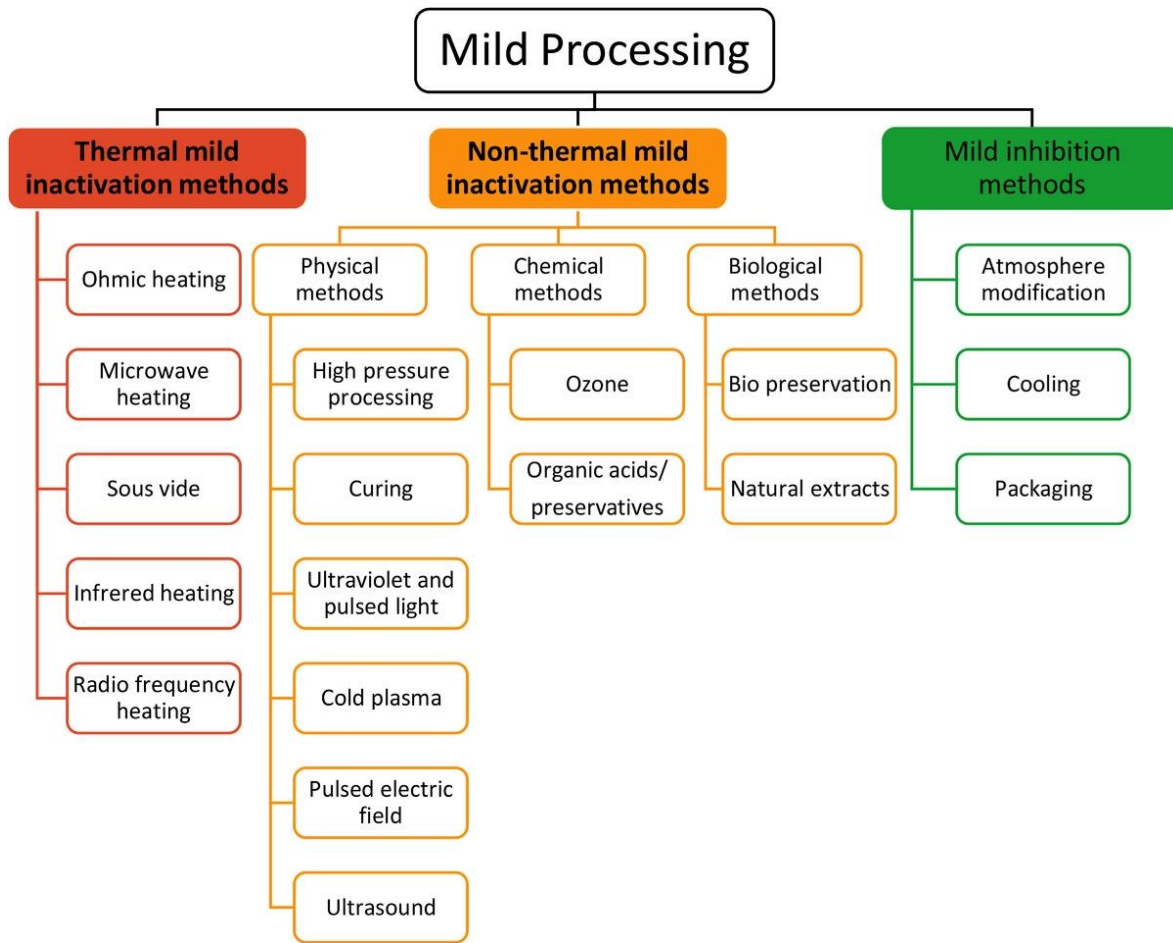


Figur 2. Barriereteknologi med eksempler på en potensiell barrierestrategi for produksjon av BARF.

3.2 Milde prosesseringsteknologier

Milde prosesseringsmetoder for matvarer er utviklet for å forlenge holdbarheten og mattryggheten ved helt eller delvis å hemme ødeleggende og sykdomsfremkallende mikroorganismer og/eller enzymer, samtidig som organoleptiske egenskaper, næringsinnhold og produktegenskaper påvirkes så lite som mulig [38]. Den samme tilnærmingen kan brukes i produksjon av BARF og kjæledyrfôr for å opprettholde ferskvarekvaliteten samtidig som produktets holdbarhet forlenges og den potensielle veksten av sykdomsfremkallende mikroorganismer hemmes.

Figur 3 gir en oversikt over ulike midtprosesseringsmetoder, og de metodene som er mest relevante for BARF-produksjon, beskrives i neste kapittel.



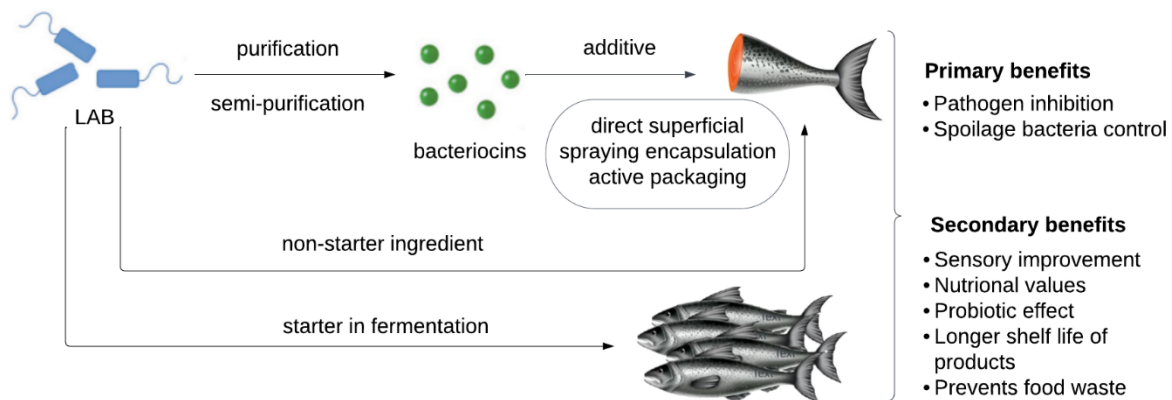
Figur 3. Eksempler på ulike metoder for mild prosessering av mat og fôr. Eksempler på ulike tilnærminger til skånsom prosessering av mat og fôr er inndelt basert på arbeidsmekanismer [38].

4 BARF-prosesseringsteknologier

4.1 Fermentering og biokonservering

Melkesyrebakterier (LAB) er en heterogen gruppe aerotolerante grampositive bakterier, og flere slekter, inkludert *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus* og *Lactococcus*, er assosiert med mikrobiotaen til marin fisk fra kaldt, temperert og tropisk vann. Fermentering med LAB er en metabolsk prosess der disse bakteriene omdanner sukker til melkesyre under anaerobe forhold. I næringsmidler er fermentering med LAB en allsidig prosess som mennesker har brukt i århundrer for å produsere et bredt spekter av fermenterte matvarer og drikkevarer med distinkt smak og forlenget holdbarhet. I konserveringsøyemed spiller syrning en avgjørende rolle, ettersom lav pH hemmer veksten av forringende og sykdomsfremkallende mikroorganismer. LAB er mer syretolerante, noe som gjør at de trives og dominerer det mikrobielle økosystemet under fermenteringen. LAB produserer også organiske forbindelser som påvirker produktets smak, tekstur og aroma. LAB er også kjent for sine probiotiske egenskaper for dyr og mennesker, noe som betyr at de kan være til nytte for verten ved å forbedre tarmhelsen og styrke immunforsvaret [39].

LAB regnes generelt som trygge (GRAS-organismer), dvs. at de ikke er giftige eller sykdomsfremkallende. LAB er naturlig forekommende produsenter av antimikrobielle metabolitter, og kan derfor benyttes i biokonservering hvor naturlig forekommende bakterier og deres antimikrobielle metabolitter brukes til å kontrollere bakterier i mat og fôr for å forlenge produktets holdbarhet [40, 41]. I fermentering gjennomgår råstoffet en betydelig endring, noe som vanligvis unngås i biokonservering (figur 4). LAB kan produsere ulike antimikrobielle forbindelser, som bakteriociner, hydrogenperoksid og organiske syrer. Bakteriociner er proteinholdige antimikrobielle stoffer som hemmer bakterier, inkludert patogener. Hydrogenperoksid og organiske syrer har også antimikrobielle egenskaper, noe som bidrar ytterligere til biokonserveringseffekten. [42].



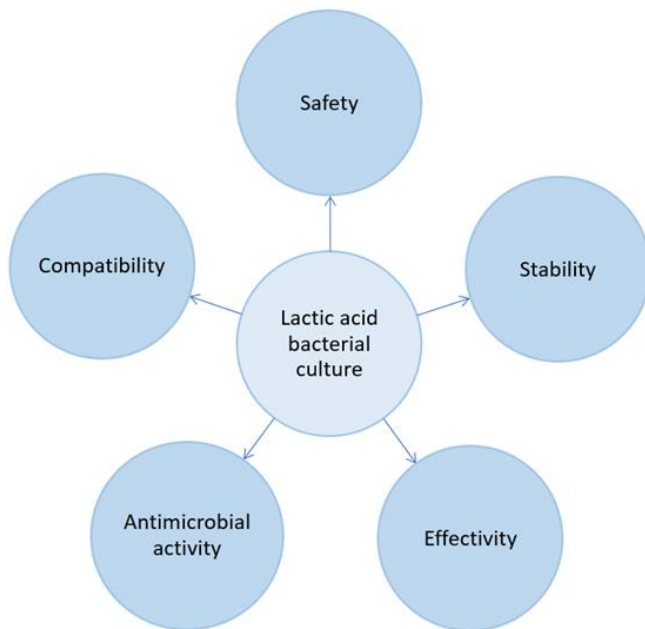
Figur 4. Melkesyrebakterier, bakteriociner og deres anvendelse i fermentering og biokonservering av mat og fôr. Modifisert fra Barcenilla, Ducic [43].

LAB kan også utkonkurrere andre bakterier ved at de forbruker næringsstoffer. De bruker tilgjengelig sukker og omdanner det til melkesyre, noe som effektivt reduserer næringsinnholdet i råstoffet og begrenser ressursene som er tilgjengelige for vekst av uønskede mikroorganismer. I tillegg kan LAB-fermentering endre det mikrobielle økosystemet i næringsmiddelsubstratet ved å fremme veksten av gunstige mikroorganismer og hemme veksten av uønskede. LAB kan produsere stoffer som skaper ugunstige forhold for forringelses- og sykdomsfremkallende bakterier, for eksempel bakteriociner som hemmer deres vekst eller metabolske biprodukter som begrenser deres overlevelse. Dette mikrobielle skiftet bidrar til å bevare maten og opprettholde dens trygghet og kvalitet.

Biokonservering kan også brukes som en del av en barrierteknologi [44], hvor LAB kombineres med andre barrierer som kjøling, modifisert atmosfærepakking osv., for å bekjempe matsvinn og sikre mattrygghet, som illustrert i figur 2.

Ettersom LAB er en mangfoldig gruppe bakterier, er det viktig å merke seg at ulike arter av melkesyrebakterier kan ha ulike fermenteringsveier, probiotiske egenskaper og konserveringspotensial. Effekten kan påvirkes av matrisen og betingelsene som brukes. I en startkulturbasert tilnærming er derfor nøye utvelgelse av LAB-stammer og optimalisering av produksjonsparametrene avgjørende for å sikre effektiv biokonservering, samt ønskede egenskapene til sluttproduktet. Stammene må kunne vokse i råvaren, overleve ugunstige forhold under prosessering og lagring og produsere tilstrekkelig med

antimikrobielle metabolitter mot et bredt spekter av sykdomsfremkallende og forringende bakterier. [42]. Kravene til stammer som brukes til biokonservering, er illustrert i figur 5.



Figur 5. Krav til stammer som brukes til biokonservering av mat- og fôrprodukter. Figuren er modifisert fra Ghanbari, Jami [42].

4.2 Tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoffer er regulert av Forskrift om tilsetningsstoffer til næringsmidler 2011-06-06 nr 668, og er definert som: «et stoff som normalt ikke inntas som et næringsmiddel i seg selv, men som med hensikt tilsettes næringsmidler for å oppfylle et teknisk formål. Tilsetningsstoffer i mat og fôr tilsettes for å forhindre mikrobiell, enzymatisk og oksidativ nedbrytning eller for å forbedre kvalitetsparametere som tekstur, smak og farge. Sukker, natriumklorid og alkoholer er har vært brukt i århundrer for å bevare og forbedre matens egenskaper, men regnes ikke som tilsetningsstoff. Tilsetningsstoffer kan fungere som konserveringsmidler ved å senke vannaktiviteten i næringsmiddelmatrisen og dermed redusere produktets mikrobielle og enzymatiske aktivitet. De kan også justere pH under eller over optimale forhold for mikroorganismer og mugg, fungere som herdemidler for å hemme spesifikke mikroorganismer, og de kan fungere som radikalfangere som forhindrer lipidoksidasjon. Hvilken type tilsetningsstoffer som skal brukes, varierer med produktets ønskede egenskaper. Generelt må tilsetningsstoffene være giftfrie, lettoppløselige, økonomiske og praktisk tilgjengelige. Uorganiske forbindelser, organiske syrer og naturlige ekstrakter er tilsetningsstoffer for fiskeprodukter som vil bli behandlet i de følgende avsnittene.

4.2.1 Organiske syrer

Organiske syrer er naturlige forbindelser med svake syreegenskaper, noe som gir dem en antimikrobiell effekt, og er enten naturlig forekommende i maten eller tilsatt for å gi smak og konservering. På grunn av deres naturlige forekomst, hovedsakelig som biprodukter fra fermenteringsprosesser, er konservering med organiske syrer en av de eldste og mest tradisjonelle konserveringsteknikkene [45]. I dag har de fått økt oppmerksomhet fordi de er lett tilgjengelige og ikke krever komplisert bearbeiding, noe som gjør dem

til rimelige og lett tilgjengelige tilsetningsstoffer. Melkesyre og eddiksyre forekommer vanligvis naturlig, mens andre vanlige organiske syrer som tilsettes i bearbeidet mat, er sitronsyre, maursyre, propionsyre, sorbinsyre og benzosyre [46].

Den antimikrobielle effekten skyldes hovedsakelig forbindelsenes polare sidegrupper og den lave pH-verdien. Syrenes effektivitet er dessuten svært avhengig av pKa-verdien. Polariteten gjør syrene lipofile, slik at de trenger gjennom den lipidbaserte cellemembranen og dissosieres inne i cellen. På grunn av den reduserte pH-verdien vil viktige intracellulære mekanismer for celledvekst, som ATP-produksjon og enzymatisk aktivitet, hemmes [46].

4.2.2 Naturlige ekstrakter

Naturlige ekstrakter stammer fra plantevev og inneholder pigmenter, polysakkarider, fettsyrer og fenolforbindelser, som alle bidrar til antioksidative og antimikrobielle effekter (Olatunde & Benjakul, 2018). Antioksidanter fungerer som frie radikaler som bremser autoksidative prosesser, som er de viktigste for lipidoksidasjon. Antimikrobielle effekter er knyttet til veksthemming og lysing av mikroorganismer. Typiske kilder til naturlige ekstrakter er fruktskall (drue, eple, plomme), krydder (timian, laurbærblad, rosmarin) og tang (brunalger).

De naturlige ekstraktene utvinnes fra plantevev i en totrinns ekstraksjonsprosess. I det første trinnet, tilberedningstrinnet, tørkes, males eller findeles planten for å skille ut det ønskede materialet fra råmaterialet. Det andre trinnet, ekstraksjonstrinnet, innebærer vanligvis at plantematerialet løses opp i organiske løsemidler som etanol, metanol, aceton eller heksan. Alternative ekstraksjonsmetoder som destillasjon, superkritisk væskeekstraksjon, ultralyd- og mikrobølgeassistert ekstraksjon har blitt introdusert som mer miljøvennlige, tids- og kostnadseffektive ekstraksjonsmetoder [47]. Bruk av naturlige ekstrakter i BARF-produkter vil øke den generelle kvaliteten og forbedre sikkerheten og holdbarheten.

4.3 Tørking og frysetørking

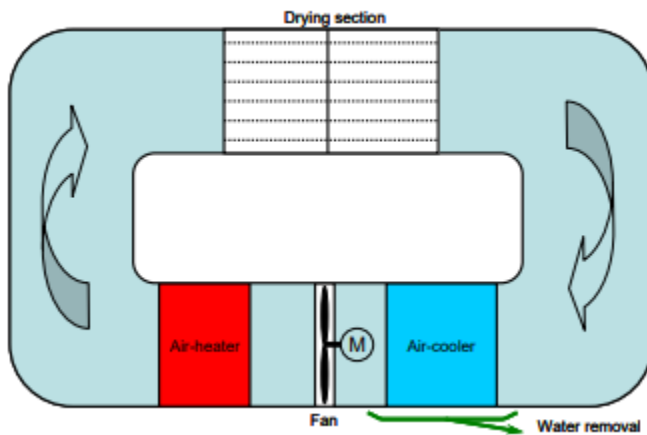
Tørking har vært den viktigste metoden for langtidskonservering av fisk siden mennesket begynte å konservere fisk. På grunn av redusert vanninnhold fører tørking til redusert mikrobiell vekst og enzymatisk aktivitet, noe som øker produktets holdbarhet.

Vannaktiviteten (a_w) er definert som vandamptrykket i råvaren dividert med standard damptrykk for vann. Vannaktiviteten er viktig i en tørkeprosess fordi den gir informasjon om hvor mye aktivt vann som finnes i produktet. De fleste ferske fiskeprodukter har en a_w på 0,99, noe som betyr at damptrykket i produktet er 99 % av damptrykket til rent vann. Etter en tørkeprosess bør tørkede fiskeprodukter ha en a_w på rundt 0,6. Generelt forhindrer $a_w < 0,85$ vekst av alle sykdomsfremkallende mikrober og toksiner. [48].

Ulike tørkemetoder kan klassifiseres i termisk, osmotisk og mekanisk tørking basert på vanningsteknikken. [48]. Termisk tørking kan videre kategoriseres i lufttørking, tørking i lavt luftmiljø og tørking i modifisert atmosfære. Osmotisk tørking utføres ved å tilsette et løsningsmiddel, for eksempel en saltløsning, som fører til fjerning av vann basert på konsentrasjonsforskjeller. Ved mekanisk tørking fjernes vannet ved hjelp av en fysisk kraft, for eksempel en trommel eller et stempel, som utøver et trykk på materialet. For mat- og fôrprodukter er termisk tørking det vanligste. Tunneltørking og frysetørking er eksempler på termiske tørkemetoder for fiskeprodukter.

4.3.1 Tørking i tunnel

Tunneltørking er en slags lavluftstørkemethode med kontinuerlig produkttørking. Råvaren befinner seg på den ene siden av tunneltørkeren, illustrert i figur 6, og det ferdig tørkede produktet samles opp i den andre enden. Tunneltørking er fordelaktig på grunn av den lett kontrollerbare tørkeprosessen og muligheten til å tørke store mengder materiale. Metoden er imidlertid tidkrevende og ikke egnet for termolabile stoffer. Tørrfisk kan produseres ved hjelp av tunneltørking. I en studie som undersøkte optimale tørkeforhold for tørrfisk, fant man at tørkehastigheten for tørrfisk ble påvirket av parametrene temperatur og fuktighet i tunneltørken, og i tillegg hadde mindre fiskeindivider (1,5 kg) høyere tørkehastighet (50 timer) enn større fiskeindivider (4,5 kg, 75 timer) [49].



Figur 6. Prinsippet for et tunneltørkesystem [49].

4.3.2 Frysetørking

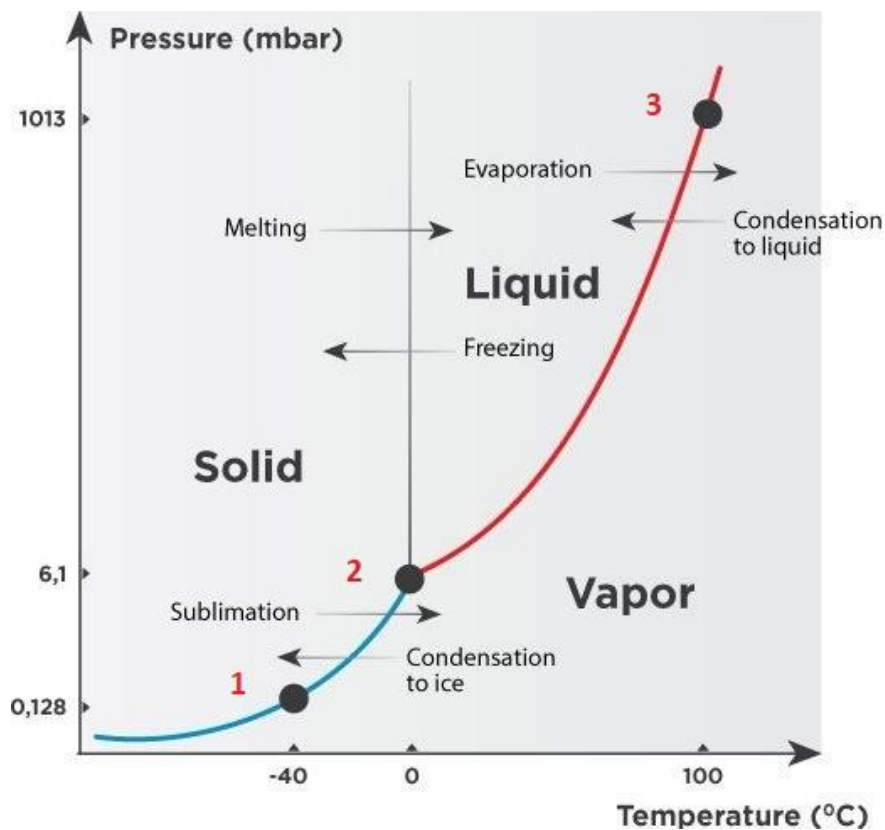
Ved frysetørking, også kalt frysetørking, fjernes vann i form av is fra et materiale under lavt trykk, noe som gir tilnærmet vakuum og lave temperaturer. [50]. Mangelen på luft og den lave temperaturen forhindrer oksidasjon og gjør at varmfølsomme komponenter, som vitaminer, antibiotika og mikrobielle kulturer, bevares. [48]. Det høye energiforbruket og den tidkrevende prosessen gjør imidlertid frysetørkingsprosessen dyr for kommersiell bruk og begrenser metoden til hovedsakelig å fremstille tørkede produkter av høy verdi.

Frysetørkede produkter oppnås gjennom de tre hovedtrinnene i råvaren; 1) frysing, 2) primær tørking og 3) sekundær tørking. [50]. I tillegg omdannes materialet til tre faser i løpet av prosessen, vist i et fasediagram i figur 7.

1. Det første trinnet innebærer frysing av råvaren. Dette trinnet er avgjørende for kvaliteten på de frysetørkede sluttproduktene, ettersom materialet må være helt frossent for de to påfølgende tørkefasene. I tillegg må frysehastigheten justeres ut fra sluttproduktets materialtype og ønskede egenskaper. Under frysing krystalliseres vannmolekylene til iskrystaller av varierende størrelse. Ved høyere frysehastigheter kan man få flere iskrystaller av mindre størrelse, mens det ved

høyere frysehastigheter dannes større og færre krystaller. Mindre iskrystaller gir lav motstand for masseoverføring og er gunstig for tidseffektiv tørking.

2. Ved primærtørking omdannes is til damp, såkalt issublimering. Dette trinnet har en høy tørkehastighet ettersom det frie vanninnholdet fjernes. Sublimeringen skjer fra produktets overflate under trykkreduksjonen i frysetørkeren. Det primære tørkettrinnet avhenger av frysekammerets varmetilførselsintensitet og trykk.
3. Det sekundære tørkettrinnet kalles desorpsjonstørkeprosessen. Vann som er bundet til næringsmiddelmatrisen, fjernes. Dette er det mest energikrevende trinnet i frysetørkingen.



Figur 7. Fasediagrammet for vann viser prinsippet for sublimering (labogene.com).

5 Emballasje

I løpet av de siste årene har det vært en økning i bruken av ulike emballasjematerialer, og det har skjedd en endring i hvordan de brukes i forhold til deres primære inneslutningsfunksjon. Det har skjedd en rask og omfattende endring i retning av en bruk der materialene har et bredt spekter av egenskaper. De nye egenskapene spenner fra å fungere som en barriere mot gasser, vann og smak til å øke produktets holdbarhet og forbedre brukervennligheten [51]. Emballasje er spesielt viktig når det gjelder sjømat, ettersom fiskeprodukter er svært lett bederlige, og god holdbarhet må opprettholdes for at kvaliteten og sikkerheten til produktet skal holde seg på et ønsket nivå gjennom hele lagringsprosessen. De ulike emballasjekonseptene vil påvirke kvalitetsparametere som drypptap, farge, lukt, harskning og holdbarhet.

Det er også viktig å merke seg at kvaliteten på et emballert produkt aldri vil overstige kvaliteten på produktet før det blir pakket. Dessuten må vi skille mellom behovene i verdikjeden før foredling og etter at BARF er produsert.

5.1 Emballasjeløsninger for kassert fisk (før den går inn i BARF-prosesseringsanlegget)

Avhengig av hvilken teknologi som er tilgjengelig for prosessering om bord, må flere ulike pakkestrategier vurderes. For mindre fartøy som ikke har frysemuligheter, er riktig kjøling obligatorisk. Bulkemballasje i containere (is-slurry eller våtis) eller på is i EPS-bokser (ekspandert polystyren) kan være gode alternativer. Fartøyets kapasitet må imidlertid optimaliseres for å håndtere både hovedfangst og utkast. For større fartøy som har mulighet til å fryse, oppstår det andre behov. Det beste emballasjealternativet for blokkfrosset utkast er bølgepapp med et enkelt eller dobbelt lag polyetylen (PE) som fukt- og gassbarriere. Selv om PE har dårlige gassbarriereegenskaper, er det det mest brukte barrierematerialet i kombinasjon med papp på grunn av den lave prisen og den gode rive- og fuktbestandigheten [52]. Emballasjematerialets evne til å holde på fuktigheten er også viktig for å opprettholde kvaliteten ved å redusere omkrystallisering og rimdannelse.

En annen strategi er å ta i bruk aktiv emballering for å forbedre holdbarheten og sikkerheten. Et alternativ for bulklagring av kjølt utkast er å lagre fisken enten i karbondioksid (CO_2)-mettede RSW-systemer eller i lukkede, fleksible beholdere med høye nivåer av CO_2 . Den bakteriostatiske effekten er sterkt korrelert med mengden oppløst CO_2 [53] og patogener som *Listeria* spp. kan hemmes ved høy metning [54]. For å oppnå så høye CO_2 nivåer må det imidlertid brukes andre strategier enn tradisjonell gasspakking, f.eks. stabilisering av oppløselig gass (SGS) [55].

5.2 Emballasjeløsninger for BARF-produkter

BARF-produkter kan enten distribueres ferske, frosne eller stabiliseres ved tørking, noe som påvirker valget av emballaseløsning. For ferske produkter er det viktig å velge en løsning som gir god holdbarhet. Dette kan være gasspakking (såkalt modifisert atmosfærepakking (MAP)). I dette emballasjekonseptet modifiseres atmosfæren i emballasjen for å skape bedre forhold for produktet. Prinsippet går ut på å erstatte luft med en annen gassblanding (vanligvis CO_2 , N_2 og/eller O_2), som varierer avhengig av produktet, og deretter forsegle emballasjen), gassemballasje i form av SGS [55] eller en løsning som inkluderer andre aktive emballasjestrategier. Som gjennomgått av Ahmed, Lin [56] er aktiv emballering et konsept der komponenter inkorporeres i emballasjematerialet eller emballasjen. Det er et samspill mellom komponent/emballasje, mat og miljø for å oppnå ønsket resultat for produktet. Disse forventede resultatene kan forbedre produktenes holdbarhet samtidig som det generelle målet om produktkvalitet og -sikkerhet opprettholdes. Aktiv emballasje deles inn i to systemer: rensende og frigjørende. De rensende systemene er vanligvis drevet av absorpsjon, og absorberer forurensninger som kan fremskynde produktforringelse, for eksempel oksygen, lukt eller fuktighet. Frigjøringssystemer frigjør eller avgir vanligvis visse forbindelser i emballasjen, for eksempel karbondioksid, antioksidanter eller antimikrobielle stoffer.

For distribusjon av frosne BARF-produkter er vakuumpakking det beste alternativet. Vakuumpakking (VP) er en teknologi der luften i en pakke fjernes før den forsegles. Formålet med denne emballasjeteknikken er å fjerne oksygen, noe som hemmer spredningen av aerobe fordervelsesbakterier og reduserer graden av oksidasjon av produktet. Dette gjøres ved at emballasjematerialet kommer i fullstendig overflatekontakt med det emballerte produktet. En stor fordel med VP er at emballasjevolumet er praktisk

talt det samme som produktvolumet. [51] og at det ofte anses som det beste alternativet for frosne produkter på grunn av barriereegenskapene til polyamid (PA)/PE-materialene som ofte brukes, og mangelen på "dødvolum" inne i emballasjen.

Emballering av tørkede produkter krever enda bedre emballasjematerialer med utmerkede gassbarriereegenskaper. Tørkede produkter, spesielt de som er frysetørket, er utsatt for oksidasjon, noe som er en av de begrensende parameterne for holdbarheten til marine råvarer generelt. For å takle denne utfordringen brukes ofte en vakuumløsning kombinert med materialer med høye oksygenbarriereegenskaper. Noen egnede materialer som kan brukes, er typiske flerlagsløsninger bestående av f.eks. PP/EVOH/PP, PA/PE/EVOH/PE, PE/EVOH/PE, PP/EVOH/PE og PET/MET-PET/PE, der EVOH står for etylenvinylalkohol, PET for polyetylentereftalat og MET-PET for metallisert (f.eks. aluminium)-PET.

Terminologi

Kilde: <https://en.wikipedia.org>

Autolyse

I biologien refererer autolyse, mer kjent som selvfordøyelse, til ødeleggelsen av en celle ved hjelp av dens enzymer. Det kan også referere til fordøyelsen av et enzym av et annet molekyl av samme enzym.

Endogenese

Endogene stoffer og prosesser har sin opprinnelse i et levende system, for eksempel en organisme, et vev eller en celle. Eksogene stoffer og prosesser er derimot stoffer og prosesser som kommer utenfra.

Glykolyse

Glykolyse er den metabolske prosessen som omdanner glukose ($C_6H_{12}O_6$) til pyruvat, og i de fleste organismer skjer den i den flytende delen av cellene, cytosolen. Den frie energien som frigjøres i denne prosessen, danner de energirike molekylene adenosintrifosfat (ATP) og redusert nikotinamidadenindinukleotid (NADH). Glykolysen er en sekvens av ti reaksjoner som katalyseres av endogene enzymer.

Metabolisme

Stoffskiftet er de livsoppretholdende kjemiske reaksjonene i organismer. Metabolismens tre hovedfunksjoner er å omdanne energien i maten til energi som er tilgjengelig for å drive cellulære prosesser, omdanne maten til byggesteiner for proteiner, lipider, nukleinsyrer og noen karbohydrater, og eliminere metabolsk avfall.

Eksoterm prosess

I termodynamikken er en eksoterm prosess en termodynamisk prosess eller reaksjon som frigjør energi fra systemet til omgivelsene, vanligvis i form av varme, men også i form av lys (f.eks. en gnist, flamme eller et lysglimt), elektrisitet (f.eks. et batteri) eller lyd (f.eks. en eksplosjon ved forbrenning av hydrogen).

Fermentering

Fermentering er en metabolsk prosess som gir kjemiske endringer i organiske stoffer ved hjelp av enzymer. I biokjemien defineres fermentering snevert som energiutvinning fra karbohydrater uten oksygen. I næringsmiddelproduksjon kan det mer generelt referere til enhver prosess der mikroorganismenes aktivitet fører til en ønsket endring av en matvare eller drikkevare.

Biokonservering

Biokonservering er bruk av naturlig eller kontrollert mikrobiota eller antimikrobielle stoffer for å konservere mat og forlenge holdbarheten. Biokonservering av mat, spesielt ved hjelp av melkesyrebakterier (LAB) som hemmer mikrober som forringer maten, har vært praktisert siden tidlig i historien, først ubevisst, men etter hvert med et stadig mer solid vitenskapelig grunnlag.

Referanser

1. Abraha, B., et al., *Effect of processing methods on the nutritional and physico-chemical composition of fish: a review*. MOJ Food Processing & Technology, 2018.
2. Molina-Vega, M., A.M. Gómez-Pérez, and F.J. Tinahones, *Chapter 25 - Fish in the Mediterranean diet*, in *The Mediterranean Diet (Second Edition)*, V.R. Preedy and R.R. Watson, Editors. 2020, Academic Press. p. 275-284.
3. Korkmaz, C., et al., *Composition and human health risk analysis of elements in muscle tissues of wild and farmed fish species from Northeast Mediterranean*. Journal of Food Composition and Analysis, 2022. **111**: p. 104606.
4. Speranza, B., et al., *Innovative Preservation Methods Improving the Quality and Safety of Fish Products: Beneficial Effects and Limits*. Foods, 2021. **10**(11): p. 2854.
5. Ryder, J., K. Iddya, and L. Ababouch, *Assessment and management of seafood safety and quality: Current practices and emerging issues.*, in *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. 2014.
6. Hong, H., J. Regenstein, and Y. Luo, *The Importance of ATP-related Compounds for the Freshness and Flavor of Post-mortem Fish and Shellfish Muscle: A Review*. Vol. 57. 2017. 1787-1798.
7. Delbarre-Ladrat, C., et al., *Trends in Postmortem Aging in Fish: Understanding of Proteolysis and Disorganization of the Myofibrillar Structure*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2006. **46**(5): p. 409-421.
8. Huss, H.H., *Quality and quality changes in fresh fish*, in *FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER - 348*. 1995, FAO: Rome, Italy.
9. Bozaris, I.S. and F.F. Parlapani, *Specific Spoilage Organisms (SSOs) in Fish*, in *The Microbiological Quality of Food*, A. Bevilacqua, M.R. Corbo, and M. Sinigaglia, Editors. 2017, Woodhead Publishing. p. 61-98.
10. Gram, L. and H.H. Huss, *Microbiological spoilage of fish and fish products*. Int J Food Microbiol, 1996. **33**(1): p. 121-37.
11. Secci, G. and G. Parisi, *From farm to fork: lipid oxidation in fish products. A review*. Italian Journal of Animal Science, 2016. **15**(1): p. 124-136.
12. Maeda, E.E., et al., *A Bayesian model of fisheries discards with flexible structure and priors defined by experts*. Ecological Modelling, 2017. **366**: p. 1-14.
13. Kelleher, K., *Discards in the world's marine fisheries*, in *FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER*. 2005.
14. Catchpole, T.L., C.L.J. Frid, and T.S. Gray, *Discards in North Sea fisheries: causes, consequences and solutions*. Marine Policy, 2005. **29**(5): p. 421-430.
15. Feekings, J., et al., *Fishery Discards: Factors Affecting Their Variability within a Demersal Trawl Fishery*. PLOS ONE, 2012. **7**(4): p. e36409.
16. Johnsen, J.P. and S. Eliassen, *Solving complex fisheries management problems: What the EU can learn from the Nordic experiences of reduction of discards*. Marine Policy, 2011. **35**(2): p. 130-139.
17. Tsarakis, K., A. Palialexis, and V. Vassilopoulou, *Mediterranean fishery discards: review of the existing knowledge*. ICES Journal of Marine Science, 2014. **71**(5): p. 1219-1234.
18. UNEP, *TEAP TF-XXVII-4 Report; annex 2*. 2016.
19. UNEP, *Cold chain technology Brief - Fishing vessel application*. 2017, International Institute of Refrigeration: Paris, France.
20. Ruize, V., *Analysis of existing refrigeration plants on-board fishing vessels and improvement opportunities*, in *Second International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing*. 2012: Vigo, Spain.
21. EC, *Work on board fishing vessels*. 1993.

22. Fagerlund, A., et al., *Listeria Monocytogenes Biofilm Removal Using Different Commercial Cleaning Agents*. *Molecules*, 2020. **25**(4): p. 792.
23. Eliasson, S., et al., *Onboard pre-chilling of ungutted and gutted Atlantic cod in different cooling media -Temperature measurements and analytical modelling*. *International Journal of Refrigeration*, 2021. **132**: p. 72-81.
24. Nordtvedt, T.S. and K.N. Widell, *Refrigeration and sustainability in the seafood cold chain*. 2020, SINTEF Ocean: Trondheim.
25. Shawyer, M. and A.F.M. Pizzali, *The use of ice on small fishing vessels*, in *FAO Fisheries technical papers*. 2003, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS: Rome.
26. Magnussen, O.M., et al., *Advances in superchilling of food – Process characteristics and product quality*. *Trends in Food Science & Technology*, 2008. **19**(8): p. 418-424.
27. Duun, A.S. and T. Rustad, *Quality changes during superchilled storage of cod (Gadus morhua) fillets*. *Food Chemistry*, 2007. **105**(3): p. 1067-1075.
28. Jessen, F., J. Nielsen, and E. Larsen, *Chilling and freezing of fish*, in *Seafood Processing: Technology, quality and safety*, I.S. Bozaris, Editor. 2014, Wiley-Blackwell.
29. Kaale, L.D., et al., *Superchilling of food: A review*. *Journal of Food Engineering*, 2011. **107**(2): p. 141-146.
30. Duun, A.S. and T. Rustad, *Quality of superchilled vacuum packed Atlantic salmon (Salmo salar) fillets stored at -1.4 and -3.6°C*. *Food Chemistry*, 2008. **106**(1): p. 122-131.
31. Piñeiro, C., J. Barros-Velázquez, and S.P. Aubourg, *Effects of newer slurry ice systems on the quality of aquatic food products: a comparative review versus flake-ice chilling methods*. *Trends in Food Science & Technology*, 2004. **15**(12): p. 575-582.
32. Salvadori, V.O. and R.H. Mascheroni, *Analysis of impingement freezers performance*. *Journal of Food Engineering*, 2002. **54**(2): p. 133-140.
33. Tan, M., J. Mei, and J. Xie, *The formation and control of ice crystal and its impact on the quality of frozen aquatic products: A Review*. *Crystals*, 2021. **11**: p. 68.
34. Gokoglu, N. and P. Yerlykaya, *Chapter 8- Freezing and frozen storage of fish*, in *Seafood Chilling, Refrigeration and Freezing: Science and Technology*. 2015, John Wiley & Sons, Ltd: USA. p. 186-203.
35. Haugland, A., *Industrial thawing of fish: to improve quality, yield and capacity*, in *Department of Energy and Process Engineering*. 2002, Norwegian University of Science and Technology.
36. Nakazawa, N. and E. Okazaki, *Recent research on factors influencing the quality of frozen seafood*. *Fisheries Science*, 2020. **86**(2): p. 231-244.
37. Rahman, M.S., *Hurdle Technology in Food Preservation*, in *Minimally Processed Foods: Technologies for Safety, Quality, and Convenience*, M.W. Siddiqui and M.S. Rahman, Editors. 2015, Springer International Publishing: Cham. p. 17-33.
38. Abel, N., B.T. Rotabakk, and J. Lerfall, *Mild processing of seafood—A review*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2022. **21**(1): p. 340-370.
39. Grześkowiak, Ł., et al., *Microbiota and probiotics in canine and feline welfare*. *Anaerobe*, 2015. **34**: p. 14-23.
40. Rathod, N.B., et al., *Antimicrobial Impacts of Microbial Metabolites on the Preservation of Fish and Fishery Products: A Review with Current Knowledge*. *Microorganisms*, 2022. **10**(4): p. 773.
41. Stupar, J., et al., *Diversity and Antimicrobial Activity towards Listeria spp. and Escherichia coli among Lactic Acid Bacteria Isolated from Ready-to-Eat Seafood*. *Foods*, 2021. **10**(2): p. 271.
42. Ghanbari, M., et al., *Seafood biopreservation by lactic acid bacteria – A review*. *LWT - Food Science and Technology*, 2013. **54**(2): p. 315-324.

43. Barcenilla, C., et al., *Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review*. Meat Science, 2022. **183**: p. 108661.
44. Wiernasz, N., et al., *Lactic Acid Bacteria Selection for Biopreservation as a Part of Hurdle Technology Approach Applied on Seafood*. Frontiers in Marine Science, 2017. **4**(119).
45. MacDonald, R. and C. Reitmeier, *Chapter 6 - Food Processing*, in *Understanding Food Systems*, R. MacDonald and C. Reitmeier, Editors. 2017, Academic Press. p. 179-225.
46. Anyasi, T., et al., *Application of organic acids in food preservation*. Organic Acids, Characteristics, Properties and Synthesis; Vargas, C., Ed, 2017: p. 1-47.
47. Abdelmohsen, U.R., A.M. Sayed, and A.H. Elmaidomy, *Natural Products' Extraction and Isolation-Between Conventional and Modern Techniques*. Frontiers in Natural Products, 2022. **1**.
48. Rahman, M.S. and C.O. Perera, *Drying and Food Preservation*, in *Handbook of food preservation*, R.M. S, Editor. 2002, CRC Press. p. 403-433.
49. Clausen, I.C. and O.M. Magnussen, *Optimal klippfisktørking*. 2008, SINTEF Energiforskning AS.
50. Nowak, D. and E. Jakubczyk, *The Freeze-Drying of Foods—The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials*. Foods, 2020. **9**(10): p. 1488.
51. Koutsoumanis, K., et al., *The use of the so-called 'superchilling' technique for the transport of fresh fishery products*. EFSA Journal, 2021. **19**(1): p. 06378.
52. Sangroniz, A., et al., *Packaging materials with desired mechanical and barrier properties and full chemical recyclability*. Nature Communications, 2019. **10**(1): p. 3559.
53. Devlieghere, F., J. Debevere, and J.F. van Impe, *Concentration of carbon dioxide in the water-phase as a parameter to model the effect of a modified atmosphere on microorganisms*. International Journal of Food Microbiology, 1998. **43**(1): p. 105-113.
54. Abel, N., B.T. Rotabakk, and J. Lerfall, *Effect of heat treatment and packaging technology on the microbial load of lightly processed seafood*. LWT, 2019. **101**: p. 123-129.
55. Esmaeilian, S., et al., *The use of soluble gas stabilization technology on food – A review*. Trends in Food Science & Technology, 2021. **118**: p. 154-166.
56. Ahmed, I., et al., *A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods*. Food Control, 2017. **82**: p. 163-178.