

Gefermenteerde producten

Inleiding tot de levensmiddelenhygiëne - Achtergronden en feiten, 2e druk

Ruiter, A.; Nout, M.J.R.

This publication is made publicly available in the institutional repository of Wageningen University and Research, under the terms of article 25fa of the Dutch Copyright Act, also known as the Amendment Taverne. This has been done with explicit consent by the author.

Article 25fa states that the author of a short scientific work funded either wholly or partially by Dutch public funds is entitled to make that work publicly available for no consideration following a reasonable period of time after the work was first published, provided that clear reference is made to the source of the first publication of the work.

This publication is distributed under The Association of Universities in the Netherlands (VSNU) 'Article 25fa implementation' project. In this project research outputs of researchers employed by Dutch Universities that comply with the legal requirements of Article 25fa of the Dutch Copyright Act are distributed online and free of cost or other barriers in institutional repositories. Research outputs are distributed six months after their first online publication in the original published version and with proper attribution to the source of the original publication.

You are permitted to download and use the publication for personal purposes. All rights remain with the author(s) and / or copyright owner(s) of this work. Any use of the publication or parts of it other than authorised under article 25fa of the Dutch Copyright act is prohibited. Wageningen University & Research and the author(s) of this publication shall not be held responsible or liable for any damages resulting from your (re)use of this publication.

For questions regarding the public availability of this publication please contact openscience.library@wur.nl

7 Gefermenteerde producten

A. Ruiter en M.J.R. Nout

7.1 INLEIDING

In dit boek mag een korte bespreking niet ontbreken van voedingsmiddelen die door inwerking van micro-organismen zijn ontstaan.

Van oudsher is gebruikgemaakt van bacteriën, gisten en schimmels om voedingsmiddelen en dranken houdbaar te maken. Uiteraard had men geen idee van de eigenlijke oorzaak van de fermentatie. Natuurlijk bestond wel wat kennis van schimmels en ook van gist. Het woord 'fermentatie' komt van het Latijnse werkwoord *fermentare* (laten rijzen). Verreweg de meeste gefermenteerde producten ontstaan door de aanwezigheid van melkzuurbacteriën en gisten. Schimmels zijn in het geheel van gefermenteerde producten van iets minder belang, hoewel deze in dit hoofdstuk wel aan de orde komen.

Afgezien van het houdbaar maken van voedingsmiddelen neemt doorgaans de *veiligheid* van de producten toe door fermentatie (in de zin dat de gezondheid er minder door wordt bedreigd). Soms wordt ook de voedingswaarde verbeterd, bijvoorbeeld doordat de verteerbaarheid beter wordt, of dat het product vitamines bevat die door de micro-organismen zijn gevormd. De meeste gefermenteerde producten echter hebben zich tot in deze tijd kunnen handhaven door hun organoleptische eigenschappen. Bier, wijn, kaas, yoghurt en zuurkool – om enkele te noemen – zijn zeer gewaardeerde producten.

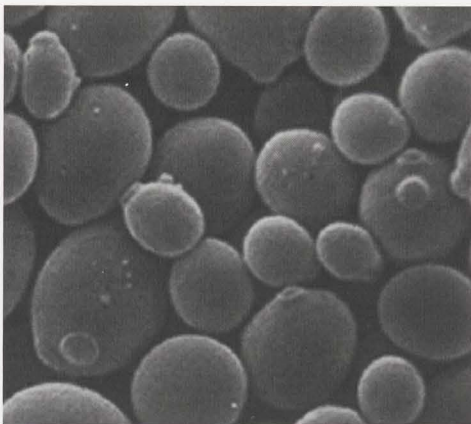
7.2 GISTEN

De betekenis van gisten bij de bereiding van gefermenteerde producten is zo groot, dat deze als eerste aan de orde komen.

Hoewel thans honderden gistsoorten bekend zijn, is niet meer dan een vrij klein deel hiervan bij deze producten betrokken. Wij beperken ons tot de belangrijke geslachten *Saccharomyces*, *Hansenula*, *Candida* en *Zygosaccharomyces*.

7.2.1 Brood, bier en wijn

Saccharomyces cerevisiae is de gistsoort (figuur 7.1) die glucose en ook enkele andere suikers (fructose, sacharose, maltose) kan omzetten in alcohol en kooldioxide (de alcoholische gisting). Deze omzetting vormt de basis voor de bereiding van alcoholische dranken.



Figuur 7.1 *Saccharomyces cerevisiae*.
Foto: R.A. Samson.

Minder opvallend, maar kwantitatief van veel meer belang, is de rol van *S. cerevisiae* bij de bereiding van tarwebrood. Na toevoeging van bakkersgist aan het deeg vindt de alcoholische gisting plaats, zodat het geknede deeg door de ontwikkeling van kooldioxide uit de vergistbare suikers kan gaan rijzen (de gevormde alcohol is niet van belang en verdwijnt tijdens het bakken. Men moet zich realiseren dat de hoeveelheid vergistbare suikers in het deeg niet hoog is, maar wel voldoende kooldioxide oplevert om het rijzen mogelijk te maken.

Bij het brouwen van bier wordt zetmeel tijdens het mouten en maischen enzymatisch in maltose omgezet. De ontstane suikerhoudende 'wort' wordt gekookt met hop, waarna gist wordt toegevoegd en de alcoholische gisting plaatsvindt. In het eindproduct is zowel alcohol als kooldioxide van belang.

Bier zoals wij dat kennen, wordt gebrouwen met behulp van giststammen die zijn gekozen uit een tweetal subsoorten (*Saccharomyces cerevisiae* var. *cerevisiae* en *Saccharomyces cerevisiae* var. *carlsbergensis*). De verschillen tussen beide stammen zijn klein. De ene soort (bovengisting) verzamelt zich in een schuimlaag op de vloeistof, waarbij gisting bij een temperatuur van 12 tot 18°C plaatsvindt. Bij de andere (en meest gebruikelijke) vorm van gisting zakken de gistcellen naar de bodem en verloopt de gisting bij 8 tot 12°C. Door de pH bij een waarde van omstreeks 4-5 te houden, kan de groei van allerlei ongewenste bacteriën worden tegengegaan.

Wijn wordt bereid uit het sap (most) dat door uitpersen van druiven is verkregen. Most van goede kwaliteit bevat glucose plus fructose in een gehalte van 12 tot 25%. Fructose wordt iets sneller vergist dan glucose. De vergisting vindt ook hier plaats met behulp van een stam die behoort tot een variant van *Saccharomyces cerevisiae* (*ellipsoïdes*). Voorwaarde is dat de te gebruiken stam kan groeien in tegenwoordigheid van sporen zwaveldioxide. Dit gas is vanouds het middel om ongewenste

micro-organismen te doden die kunnen groeien in (vrijwel) lege wijnvaten. Dit gebeurde door wat zwavel te verbranden op de bodem van het vat (zwavelen). Verder moet de gist bestand zijn tegen de looizuren (tanninen) die in de most aanwezig zijn.

Naast suikers bevat de most natuurlijk nog vele andere verbindingen. Hier worden slechts wijnsteenzuur (gehalte ongeveer 0,5%) en appelzuur (0,3%) genoemd. Wijnsteenzuur slaat soms neer als het zure kaliumzout (wijnsteen). Het gehalte aan appelzuur is in most van druiven uit verhoudingsgewijs koele streken vaak hoger dan elders. Appelzuur is een vrij sterk zuur. Daardoor hebben wijnen uit deze streken van nature een uitgesproken zure smaak. Door beënting met *Oenococcus oeni*, een kokvormige melkzuurbacterie, wordt appelzuur voor een groot deel in melkzuur omgezet. De wijn wordt daardoor niet alleen minder zuur, maar ook stabiel. De wijn krijgt meer 'body' en het bouquet wordt beter.

Een gist die vaak *bederf* veroorzaakt, is *Zygosaccharomyces bailli*. Dit organisme groeit bij een relatief lage a_w en een lage pH en is bestand tegen allerlei conserveermiddelen.

Z. bailli ontwikkelt zoveel gas (CO_2) dat gesloten containers met bijvoorbeeld bier die door deze gist zijn geïnfecteerd, erdoor kunnen exploderen. Overigens veroorzaakt deze gist ook veel *bederf* in producten met een hoog suikergehalte zoals jam en honing.

7.3 MELKZUURBACTERIËN

De benaming 'melkzuurbacteriën' heeft geen duidelijke taxonomische betekenis, maar geeft eerder aan dat al deze bacteriën melkzuur vormen als belangrijk omzettingproduct van suiker (glucose). Er bestaat wel fylogenetische overeenkomst. Alle melkzuurbacteriën (MZB) zijn Gram-positief; het kunnen staafjes of kokken zijn en de meeste zijn anaeroob (maar wel aerotolerant). Melkzuurbacteriën verkrijgen energie door afbraak van koolhydraten. Homofermentatieve MZB vormen uitsluitend melkzuur uit glucose. Bij heterofermentatieve MZB worden ook kooldioxide en ethanol of azijnzuur gevormd en verder sporen van andere verbindingen.

De voornaamste geslachten zijn *Lactobacillus* spp. (staafjes) en *Lactococcus* spp., *Leuconostoc* spp., *Oenococcus* spp., *Pediococcus* spp., *Streptococcus* spp. (kokken); *Lactococcus* spp. en *Streptococcus* spp. als ketens aaneengesloten. *Leuconostoc* spp., *Oenococcus* spp. en een aantal *Lactobacillus* spp. zijn heterofermentatief; de overige zijn overwegend homofermentatief.

7.3.1 Antimicrobiële stoffen in voedingsmiddelen, gevormd tijdens fermentaties

Melkzuur is een zwak organisch zuur en komt in zure producten zoals yoghurt grotendeels in ongedissocieerde vorm voor. Het ongedissocieerde zuur heeft een antimicrobieel effect. Hierdoor wordt de groei van vele andere bacteriën geremd of zelfs stilgelegd. Ook andere verbindingen die door melkzuurbacteriën worden

gevormd, dragen hiertoe bij. Van belang zijn bacteriocinen, waterstofperoxide en ethanol (de gewone alcohol).

Bacteriocinen zijn peptiden of eiwitten die ook de groei van andere bacteriën belemmeren; doorgaans zijn deze afkomstig van nauw verwante soorten. Een bekend voorbeeld is *nisine*, dat wordt gevormd door *Lactococcus lactis*. Nisine is opgebouwd uit 34 aminozuren en hoort dus tot de peptiden. Het beschermt onder andere sommige kaassoorten tegen de groei van ongewenste bacteriën (meestal Gram-positieve). Nisine is niet zozeer een stof die de bewaartijd van sommige producten verlengt, maar biedt vooral de mogelijkheid de temperatuur tijdens de bereiding van sommige kazen lager te houden. Daardoor worden bestanddelen die gevoelig voor verwarming zijn, minder beschadigd.

Waterstofperoxide (H_2O_2) verdient in dit verband ook onze aandacht. Het is een normaal product van de stofwisseling, maar wordt door het enzym *katalase* ontleed in water en zuurstof. Melkzuurbacteriën beschikken echter niet over katalase en vormen H_2O_2 in aanwezigheid van zuurstof. Omdat H_2O_2 antimicrobiële eigenschappen bezit, kan het enige bescherming geven tegen ongewenste bacteriën. Het effect is echter niet groot, ook al omdat de stof niet stabiel is en zonder katalase ook wel in zuurstof en water uiteenvalt, zij het veel langzamer.

Een andere verbinding met antimicrobiële eigenschappen is alcohol. Ook hier geldt dat het effect niet groot is in producten waarin (heterofermentatieve) omzettingen hebben plaatsgevonden.

Nog enkele andere stoffen kunnen in dit verband worden genoemd, maar blijven hier buiten beschouwing.

7.4 GEFERMENTEERDE MELKPRODUCTEN

In onze streken is *karnemelk* van oudsher de gefermenteerde drank uit melk bij uitstek.

Karnemelk was oorspronkelijk de vloeistof die zich afscheidt van de room na het karnen. Daarbij kwam ook een spontaan verzuringsproces op gang. Tegenwoordig wordt ontroomde melk voorzien van een startcultuur, meestal bestaande uit *Lactococcus lactis*, ssp. *lactis*, en *Leuconostoc mesenteroides*, ssp. *cremoris*. Hierbij wordt slechts een deel van de aanwezige lactose omgezet; fabriekskarnemelk bevat nog 3,5% van deze suiker.

Yoghurt is de meest verbreide gefermenteerde melkdrank in de westerse wereld (hoewel in onze streken hierbij eerder aan een dessert zal worden gedacht). De populariteit van yoghurt heeft overigens meer te maken met de aangename organoleptische eigenschappen en de toepassing als ingrediënt in diverse gerechten, dan met de houdbaarheid.

Yoghurt wordt bereid met behulp van een tweetal startculturen: *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus* (optimum 39°C) en *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* (optimum 45°C). De temperatuur waarbij de fermentatie plaatsvindt (42-43°C) is dus

een compromis. Het duurt ongeveer vier uur voordat een pH-waarde van 4,6 à 4,7 is bereikt. Bij deze pH coaguleert caseïne – het belangrijkste eiwit in melk – tot een dikke gel die alle componenten van het mengsel bevat. Na afkoeling is het product, bij een koelkasttemperatuur van ongeveer 5°C, ongeveer drie weken houdbaar.

Kefir lijkt meer op onze karnemelk dan op yoghurt; het heeft echter qua smaak wat meer met yoghurt gemeen. Het bevat een kleine hoeveelheid alcohol: in de orde van 0,5% met een maximum van ongeveer 1%. Een dergelijk percentage vindt men vooral in kefir die thuis is bereid. Door het gevormde kooldioxide geeft het ook een aangenaam tintelend mondgevoel.

Lactobacillus kefir en de gist *Candida kefir* spelen bij de bereiding van kefir de hoofdrol. Deze vormen een stabiele zogenoemde protocöperatieve mengcultuur, waarin elk van de beide micro-organismen profiteert van door het andere uitgescheiden groeifactoren. Deze microflora is overigens niet regelmatig door de melk verdeeld, maar vouwt zichzelf op als een bloemkoolachtige structuur (vaak – nogal verwarrend – betiteld als 'kefirplantje'). In Oost-Europa en in Scandinavië is kefir zeer populair.

7.5 PROBIOTICA EN PREBIOTICA

De dikke darm (het *colon*) en vooral de blinde darm (het *caecum*) van de mens kunnen worden beschouwd als een fermentatievat, waarin allerlei micro-organismen een symbiose vormen met elkaar en met de gastheer. Het onderste deel van de dunne darm bevat eveneens een kleine hoeveelheid bacteriën, maar deze zijn niet van grote betekenis. De maag en ook de twaalfvingerige darm (het *duodenum*) zijn gebieden waar bacteriën moeilijk kunnen koloniseren; deze organen worden hier buiten beschouwing gelaten.

Onze darmflora speelt niet alleen een grote rol in de vertering van ons voedsel, maar ook in onze gezondheid en bij de afweer van ziekteverwekkende micro-organismen. Kolonisatie van het colon begint vrijwel direct na de geboorte. Met voortschrijdende leeftijd verandert onze darmflora van samenstelling: de oudere of zieke mens bevat vaak niet meer de bacteriën die bij jonge kinderen voor goede weerstand zorgen.

De samenstelling van de darmflora, die van groot belang is bij het functioneren van het colon, wordt natuurlijk beïnvloed door het opgenomen en al gedeeltelijk verteerde voedsel. Velen zijn van mening dat bepaalde voedingsmiddelen (vaak aangeduid als 'functional foods') deze samenstelling in positieve zin beïnvloeden, zoals uit het volgende blijkt. Hierbij spreekt men van probiotica, prebiotica en symbiotica.

7.5.1 Probiotica

Het regelmatig gebruik van zure melkproducten zoals yoghurt wordt sinds eeuwen in verband gebracht met een lang en gezond leven.

De zoöloog, microbioloog en Nobelprijswinnaar *Ilja Iljitsj Metsjnikov* (1845-1916) was de eerste die opperde dat bepaalde bacteriën uit de yoghurt de gezondheid van de mens in gunstige zin zouden kunnen bevorderen. Deze uitspraak, ongeveer een eeuw geleden gedaan, was het begin van de belangstelling voor bepaalde bacteriën die mogelijk een gunstig effect op de gezondheid van de mens uitoefenen. *Lilly* en *Stillwell* stelden in 1965 de term 'probiotica' voor. Ze omschreven dit begrip als de verzamelnaam voor factoren die de groei bevorderen en die worden gevormd door micro-organismen zoals lactobacillen en bifidobacteriën. Ook *Bacillus* spp. zijn in dit verband genoemd. Bacteriën die veelvuldig voor dit doel worden toegepast, zijn *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bifidus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium* spp. en *Lactococcus lactis*.

Probiotica worden wel aanbevolen als voedingssupplementen om de volgende redenen:

- verlichting van acute diarree bij kinderen, vooral veroorzaakt door rotavirussen;
- bestrijding van infecties van de luchtwegen;
- onderdrukking van de kolonisatie van *Helicobacter pylori* bij maagaandoeningen;
- vermindering van de kans op bepaalde allergische reacties;
- bescherming tegen carcinomen in het colon.

Achter dit alles ligt ook de gedachte dat, door het westerse hygiënische leefpatroon, het toenemende gebruik van antibiotica en de bereiding van voedsel waarbij bacteriën in hun algemeenheid zo veel mogelijk worden uitgesloten, de blootstelling aan bacteriën met een gunstig effect op de gezondheid eveneens wordt verminderd. Daarbij is de vraag van belang op welke wijze pre- en probiotica de bacteriële ecologie van de ingewanden beïnvloeden.

Van een aantal *Lactobacillus* spp. is bekend dat deze zich aan het darmepitheel van de gastheer hechten en op deze manier tegengaan dat pathogene bacteriën dit doen. Hierover bestaat echter nog veel onduidelijkheid. Andere probiotische stammen produceren melkzuur, azijnzuur of andere lagere vetzuren die de pH verlagen en zo de groei van bepaalde pathogene bacteriën tegengaan. Verder worden verbindingen van complexere structuur gevormd (vooral bacteriocinen), die de ontwikkeling van bepaalde pathogene bacteriën ook min of meer verhinderen.

Tot slot moet worden genoemd dat probiotica het afweersysteem van de gastheer kunnen beïnvloeden. Het slijmvlies van de darm heeft zijn eigen immuunsysteem, dat mogelijk door probiotica wordt gestimuleerd. Het spreekt vanzelf dat deze mechanismen het voorwerp zijn van veel onderzoek.

Hoewel een aantal gezondheidsclaims nog moet worden onderbouwd met hard bewijs, is wel overtuigend vastgesteld dat concurrentie van probiotica de invasie door darmpathogenen kan verminderen (competitieve exclusie). Hierdoor treedt minder ziekte-uitval op en (bij dieren) een betere groei. Een ander gunstig effect is de immunomodulatie door de stimulering van humane ontstekingsremmende cytokinen. 'Verhoging van de weerstand' zou onder meer kunnen worden toegepast

bij het beteugelen van allergieën en astma. Een combinatie van probiotische micro-organismen is hierbij effectiever dan enkelvoudige cultures.

7.5.2 Prebiotica

De definitie luidt: 'Prebiotica zijn niet-verteerbare voedselbestanddelen die de groei en de activiteit van een of meer bacteriesoorten in de dikke darm bevorderen en op deze wijze de gezondheid van de gastheer verbeteren.' Dat wil zeggen dat deze componenten niet in het spijsverteringskanaal zijn omgezet en dus als zodanig het colon binnenkomen. Daar dienen ze dan als substraat voor de daar aanwezige lactobacillen en bifidobacteriën.

7.5.3 Symbiotica

De term symbiotica wordt gebruikt als in een product een prebiotische stof aanwezig is die de groei van – eveneens aanwezige – probiotica bevordert.

7.6 KAAS

De eerste stap van de kaasbereiding berust vaak op een zuiver enzymatische reactie, waarbij caseïne, het belangrijkste eiwit in melk, wordt neergeslagen.

Caseïne is een complex aggregaat. Na toevoeging van stremsel wordt onder invloed van *chymosine*, een enzym uit de lebmaag van jonge kalveren, caseïne zodanig veranderd dat het destabiliseert en neerslaat (coaguleert).

Het coagulaat dat door de inwerking van chymosine uit melk ontstaat, wordt *wrongel* genoemd. Deze wrongel bevat ook een groot deel van het melkvet en verder een deel van de andere eiwitten die in melk aanwezig zijn. De achtergebleven vloeistof noemt men *wei*.

Vervolgens wordt een groot deel van de wei uit de wrongel geperst. Of de kaas hard of zacht wordt, hangt vooral af van de hoeveelheid wei die wordt uitgeperst. In onze streken wordt het uitpersen van oudsher meestal lang voortgezet en worden dus in hoofdzaak harde kazen geproduceerd.

In sommige gevallen gaat de kaasbereiding niet zoveel verder. Dit is het geval bij niet-gerijpte kaassoorten zoals mascarpone, cottage cheese en ook de met zout behandelde feta. Doorgaans echter wordt voor de stremseltoevoeging zuursel aan de kaasmelk toegevoegd, zodat melkvet en caseïne voor een klein deel worden afgebroken tot stoffen die het karakteristieke kaasaroma vormen. Soms produceert de aanwezige flora tijdens het persen kooldioxide. Dit gas kan dan al niet meer volledig ontwijken en is de oorzaak van gaten in de kaas.

Een andere manier om kaas te maken, berust op bacteriële verzuring van melk. Omzetting van lactose in melkzuur kwam al aan de orde bij de bereiding van karnemelk en is natuurlijk ook van essentieel belang bij het vervaardigen van yoghurt en kefir. *Lactobacillus lactis* en *Streptococcus lactis* worden ook hier toegepast; voorts *Streptococcus lactis* ssp. *thermophilus* en thermofiele stammen van *Lactobacillus casei* en *Lactobacillus helveticus*. Nadat een pH van ongeveer 4,6 is bereikt, zal ook hier de

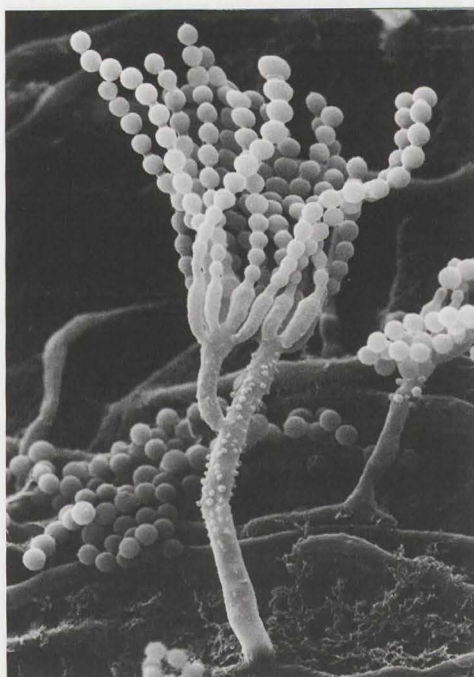
caseïnemassa inkrimpen en vocht aan de omgeving afstaan. De specifieke rijping van bepaalde kaassoorten hangt voor een groot deel af van de toegepaste startculturen, waardoor aromacomponenten in verschillende verhoudingen in het eindproduct aanwezig kunnen zijn en op deze wijze de organoleptische eigenschappen bepalen.

Doorgaans wordt een soort pasteurisatie toegepast voordat de beënting met bepaalde bacteriestammen ('starters') plaatsvindt. Deze kortstondige hittebehandeling draagt bij tot een betrouwbaar fermentatieproces en een veilig product. Sommige kaasbereiders, met name van boerenkaas, kiezen echter voor rauwmelkse kaas, vooral omdat men het aroma daarvan meer apprecieert.

Schimmels kunnen, zoals bekend zal zijn, het aroma van de kaas verder profileren. Organismen zoals *Penicillium roqueforti* worden gebruikt om harde kazen te maken met een enigszins scherpe – maar zeker niet onaangename – geur; hierbij groeit de schimmel dwars door de kaas heen. Bij zachte kaassoorten zoals *camembert* en *brie* groeit een andere schimmel – *Penicillium camemberti* – aan het oppervlak.

De houdbaarheid van kaas hangt sterk af van de soort, maar is altijd langer dan die van melk. Dit komt vooral door de lagere pH (die een waarde van omstreeks 5 bezit), maar ook door de lagere wateractiviteit, die werd bereikt door de wei grotendeels te

Figuur 7.2 *Penicillium roqueforti*.
Foto: R.A. Samson.



verwijderen en door de aanwezigheid van zout in het overblijvende vocht. Het bedekken van een stuk kaas met een laagje plastic of – moderner – het onder vacuüm verpakken, biedt een effectieve beheersing van bederf dat door ongewenste schimmels en gisten wordt veroorzaakt.

7.7 GEFERMENTEERDE GROENTEN

De bij ons zo bekende en door velen geapprecieerde zuurkool heeft in Europa (vooral Duitsland) grote populariteit verworven, maar komt oorspronkelijk uit China en is eeuwen geleden door de Tataren hierheen gebracht.

Zuurkool wordt gemaakt van witte kool (*Brassica oleracea*). Na het verwijderen van het buitenblad en de harde kern van de kool wordt deze in dunne reepjes gesneden, homogeen gemengd met 1,5 tot 2% zout en in een afgesloten vat zodanig bewaard dat de kool onder zijn eigen sap komt te staan. Door de combinatie van uit de kool diffunderende suikers en afwezigheid van luchtzuurstof, zullen zich uit de natuurlijke koolflora achtereenvolgens een aantal soorten micro-organismen ontwikkelen ('microbiële successie'). Uiteindelijk mondt dit uit in een melkzuurgisting. Er zijn startculturen in de handel, maar deze worden minder gebruikt dan in andere fermentatieprocessen. In het begin van het proces bedraagt het aandeel van melkzuurbacteriën in de totale flora ongeveer 1%. Vele andere bacteriën gaan echter onder deze omstandigheden niet groeien, zodat twee dagen later al meer dan 90% van de microflora uit melkzuurbacteriën bestaat.

Gedurende de eerste dagen treedt een sterke groei op van *Leuconostoc mesenteroides*. Dit heterofermentatieve organisme produceert kooldioxide, dat de ingesloten lucht verdrijft en zorgt voor een anaeroob milieu. Naast melkzuur vormt zich ook azijnzuur, dat sterk tot het aroma bijdraagt. Naarmate de pH lager wordt, vindt gaandeweg een verdringing van *Leuconostoc mesenteroides* plaats door groei van meer zuurtolerante heterofermentatieve melkzuurbacteriën zoals *Lactobacillus brevis*, in een volgend stadium gevolgd door homofermentatieve lactobacillen zoals *L. plantarum*. Uiteindelijk ontstaat, na vier tot acht weken, een product met ongeveer 1,5% melkzuur, 0,5% azijnzuur en een pH iets lager dan 4.

Zuurkool bevat naar verhouding vrij veel ascorbinezuur (vitamine C). Deze vitamine is afkomstig van de oorspronkelijke witte kool, en blijft – in tegenstelling tot bij andere conserveringsmethoden – in dit zure en anaerobe milieu goed geconserveerd.

7.8 VLEESPRODUCTEN

Een aanzienlijke hoeveelheid vlees wordt verwerkt tot producten die langer houdbaar zijn. Hiertoe behoren, zoals iedereen weet, allerlei worstsoorten. De verscheidenheid is bijzonder groot; alleen al in Duitsland bestaan meer dan driehonderd verschillende soorten.

Nadat het vlees is vermalen (vaak spreekt men dan van 'worstdeeg'), wordt het voorzien van wat zout en een aantal hulpstoffen, waaronder ascorbinezuur en nitriet. Daarna volgt een verhittingsproces of een droogproces, of beide.

Bij een aanzienlijk aantal van deze producten wordt ook een microbiële rijping toegepast. Bijna altijd is dat een melkzuurfermentatie. Een belangrijk doel is het verkrijgen van een bepaald aroma, maar verlenging van de microbiële houdbaarheid is, zoals gezegd, ook van belang.

Toevoeging van kruiden draagt bij tot de melkzuurfermentatie, vanwege hun relatief hoge gehalte aan het element mangaan. De groei van veel melkzuurbacteriën wordt hierdoor namelijk bevorderd, zodat de concurrentie met andere bacteriën die ook in het worstdeeg aanwezig zijn, wat in het voordeel van de melkzuurbacteriën wordt verschoven. De toevoeging van nitriet is van groot belang om een mogelijke uitgroei van sporen van *Clostridium* spp. te voorkomen.

Nog steeds wordt, evenals bij de bereiding van zuurkool, de op natuurlijke wijze gerijpte worst (dus met behulp van de aanwezige melkzuurbacteriën en zonder startculturen) geproduceerd. Het merendeel wordt echter met behulp van startculturen gemaakt. Deze bestaan vaak uit mengsels van reinculturen, afgestemd op een specifieke worstsoort. Ze bevatten doorgaans verscheidene typen melkzuurbacteriën; daarnaast soms ook gisten zoals *Debaryomyces hansenii* en *Candida famata*. Voor schimmelkazen worden ook schimmelstartculturen gebruikt, zoals *Penicillium camemberti* en *Penicillium nalgiovense*.

7.9 GRAANPRODUCTEN

In de paragraaf 'Gisten' (7.2) werd brood als gefermenteerd product genoemd. In Nederland is het merendeel van de verkochte (tarwe)broodsoorten gefermenteerd met bakkersgist (*Saccharomyces cerevisiae*). Een ander broodtype is zuurdesembrood, dat vooral in Centraal-Europa populair is. Zuurdesem wordt overigens ook als aroma-ingrediënt aan 'gistbrood' toegevoegd. Zuurdesem is deeg dat door een stabiele mengflora van melkzuurbacteriën en gisten wordt gefermenteerd. Hierbij wordt een rijk scala van alcoholen, zuren en esters gevormd, wat een bijzonder smakelijk brood oplevert dat (door de aanwezige zuren) ook een betere houdbaarheid heeft dan gangbaar gistbrood.

Behalve tarwe worden ook andere graansoorten zoals rogge, maïs en gierst gefermenteerd. Rogge wordt veel toegepast in Duits en Zwitsers zuurdesembrood; maïs en gierst worden in een grote variëteit aan gefermenteerde pappen en deegwaren verwerkt in tropische gebieden, zoals West-Afrika. Een voorbeeld is het Ghanese product 'kenkey' dat een melkzuurfermentatie ondergaat en kan worden omschreven als een stevig, gekookt, gefermenteerd maïsbrood dat door de gemiddelde Ghanees een- à tweemaal per dag als hoofdvoedsel wordt gegeten.

7.10 VISPRODUCTEN

Gefermenteerde visproducten worden vooral in Oost-Azië bereid, maar komen in ons werelddeel vrijwel niet voor.

Gerijpte maatjesharing werd vroeger veel gegeten in Nederland. De rijping van gezouten haring berust echter niet op een microbiologisch proces, maar op gedeeltelijke afbraak van de spiereiwitten door enzymen uit de maagaanhangels (die na het kaken in de vis achterblijven). Het bijzondere aroma wordt echter misschien veroorzaakt door bacteriën die de afbraakproducten van de spiereiwitten als substraat gebruiken. Bij Noorse delicatessen die van haring worden gemaakt (*appetittsild*, *gaffelbiter*), bestaan duidelijke aanwijzingen voor een bacteriële rijping.

7.11 AZIJN

Ruwweg gesproken is azijn een waterige vloeistof die ongeveer 4% azijnzuur en in kleine hoeveelheden ook nog wat andere bestanddelen bevat.

Veel azijn wordt tegenwoordig via een chemisch proces vervaardigd. In de keuken wordt echter nog steeds gebruikgemaakt van azijn die langs bacteriële weg uit alcohol (ethanol) is ontstaan. Voor een deel is wijn daarbij het uitgangsmateriaal.

De vorming van azijnzuur uit ethanol is een oxidatieproces. Hiervoor worden bacteriën gebruikt die tot de geslachten *Acetobacter* of *Gluconobacter* behoren. Beide geslachten behoren tot de sterk oxidatieve bacteriën, die ook suikers kunnen omzetten in allerlei geoxideerde producten. *Acetobacter* spp. leveren om bepaalde redenen wat betere azijn op, maar zijn ook in staat azijnzuur verder te oxideren tot kooldioxide en water (*overoxidatie*). Door te zorgen dat steeds voldoende alcohol in het reactiemengsel aanwezig blijft, zal deze worden geoxideerd en niet het gevormde azijnzuur. Verder oxideert de (veelgebruikte) soort *Acetobacter europaeus* geen azijnzuur als de concentratie in het reactiemengsel 6% of meer bedraagt.

Er bestaan nogal wat verschillende technieken om azijnzuur langs microbiologische weg te bereiden, maar deze worden hier niet besproken.

7.12 FERMENTATIE DOOR SCHIMMELS

Ook hier geldt weer dat deze producten in Oost-Azië van groot belang zijn, maar niet in onze streken. Door de toenemende globalisering en industriële productie van Aziatische, door schimmels gefermenteerde producten zijn sommige hiervan geleidelijk in Nederland bekend geworden. Een voorbeeld is *tempé*, in Indonesië een traditioneel voedingsmiddel dat in Nederland en ook in de Verenigde Staten belangstelling trekt. *Tempé* wordt meestal gemaakt van sojabonen. De bereiding begint met het weken van de bonen in water. Hierbij vindt al een bacteriële fermentatie plaats, waarbij de pH daalt naar waarden van omstreeks 5. Daarna worden de bonen van hun velletje ontdaan en vervolgens gekookt. Hierbij worden ongewenste enzymen geïnactiveerd en een aantal bestanddelen verwijderd. Eiwit, sachariden en vetzuren in de gekookte sojabonen dienen als substraat voor de cultuur waarmee de volgende stap van de verdere fermentatie wordt uitgevoerd. Deze cultuur is een mengsel van

schimmels, gisten en bacteriën, maar de belangrijkste component is de snelgroeiende schimmel *Rhizopus oligosporus*.

Na twee dagen incuberen bij de omgevingstemperatuur (30-35°C) ontwikkelt zich mycelium tussen en in de bonenmassa, waardoor deze als het ware wordt ineengeknoopt tot een stevige, snijdbare koek. De schimmel produceert een groot aantal enzymen waarmee eiwitten, polysachariden en vetten kunnen worden afgebroken, zodat ze kunnen worden geassimileerd door de schimmel. De pH heeft inmiddels neutrale waarden bereid; verder doen proteasen uit de schimmels het gehalte aan vrije aminozuren toenemen. Ook lipasen zijn aanwezig, waardoor vrije vetzuren worden gevormd. Door de aanzienlijke afbraak van polymere stoffen neemt de verteerbaarheid sterk toe. Tempé is dan ook bijzonder gemakkelijk te verteren voor consumenten met een slecht functionerende spijsvertering.

De bereiding van tempé moet niet als een conserveringsproces worden beschouwd. Het product is redelijk stabiel, maar na enkele dagen verkleurt het en gaat door verdergaande proteolyse en deaminering naar ammoniak ruiken.

Tempé kan overigens ook uit andere grondstoffen dan sojabonen worden bereid, bijvoorbeeld uit andere bonen en verder uit granen en diverse bijproducten uit de landbouw.

Schimmels spelen ook een essentiële rol in de productie van rijstwijn. De Japanse 'sake' is een internationaal bekend voorbeeld van een zeer succesvol industrieel geproduceerd product van hoge kwaliteit. Bij de bereiding van sake wordt rijst geweekt, gestoomd en voorzien van een cultuur van *Aspergillus oryzae*. Deze groeit op de rijst en vormt een aantal enzymen. Dit leidt tot afbraak van het rijstzetmeel tot circa 20-25% vergistbare suikers (voornamelijk glucose). Daarna wordt een gistbeslag (*Saccharomyces sake* en *Hansenula anomala*) toegevoegd waardoor de alcoholische gisting tot stand komt en uiteindelijk – na filtratie en opwerking – een heldere wijn ontstaat met 15-18 volumepercent alcohol.

Ten slotte is er de alom bekende sojasaus. In Japan wordt dit product ('shoyu') van een mengsel van sojabonen en tarwe gemaakt; in Indonesië wordt voor de bereiding van 'kecap' of 'ketjap' geen graan gebruikt. Er bestaan veel verschillende soorten sojasaus, die echter alle volgens een soortgelijk principe worden geproduceerd. Soja wordt geweekt en gestoomd of onder druk gekookt, en tarwe wordt droog verhit en grof vermalen. Deze twee ingrediënten worden in ongeveer gelijke hoeveelheden gemengd en een schimmelcultuur ('tane koji', waarin *Aspergillus sojae* en *Aspergillus oryzae* domineren) wordt toegevoegd. Onder aerobe omstandigheden raakt de korrelige massa, onder periodiek mengen, begroeid met de schimmels. Dit soort fermentatie wordt ook wel aangeduid als 'vastestoffermentatie'; een groot aantal eiwit-, zetmeel-, en vetafbrekende enzymen wordt gevormd en de massa wordt al gedeeltelijk afgebroken. Na ongeveer een week wordt de beschimmelde massa gemengd met pekkel (zoutgehalte na mengen ongeveer 18%) en begint een lange periode van rijping (3 tot 24 maanden). Tijdens de rijping worden de bonen

grotendeels afgebroken tot in water oplosbare bestanddelen. Tevens zijn tijdens deze periode voor zout tolerante gisten (*Zygosaccharomyces rouxii*) en melkzuurbacteriën (*Tetragenococcus halophila*) actief. Deze dragen bij tot het aroma door de vorming van alcoholen, zuren, esters en vele andere aromatische stoffen. Na rijping volgt filtratie, afvullen en vaak pasteurisatie. Het ontstane, wat zoutige product versterkt de smaak van kip en vlees. In Indonesië wordt het aangeduid als 'kecap asin' (zoute ketjap). Een populair product in Nederland is zoete ketjap ('kecap manis'), die verkregen wordt door toevoeging van palmsuiker, diverse kruiden en specerijen aan zoute ketjap.

Uiteraard bestaan, buiten de hier genoemde, veel meer voedingsmiddelen, dranken, sauzen enzovoort, waarbij microbiële fermentatie van groot belang is. De hieronder weergegeven literatuur bevat verscheidene beschrijvingen die het bestuderen meer dan waard zijn.

LITERATUUR

- Adams, M.R. & M.O. Moss (2000), 'Fermented and microbial foods'. In: *Food microbiology*. 2nd ed. Royal Society of Chemistry, Cambridge. pp. 311-369.
- Adams, M.R. & M.J.R. Nout (eds.) (2001), *Fermentation and food safety*. Aspen Publishers, Gaithersburg, Md.
- Boekhout, T. & V. Robert, eds. (2003), *Yeasts in food: beneficial and detrimental aspects*. B. Behr's Verlag GmbH & Co. KG, Hamburg.
- Nout, M.J.R. (2003), 'Traditional fermented products from Africa, Latin America and Asia'. In: Boekhout, T. & V. Robert (eds.), *Yeasts in food: beneficial and detrimental aspects*. B. Behr's Verlag GmbH & Co., Hamburg. pp. 451-473.
- Nout, M.J.R., W.M. de Vos & M.H. Zwietering (eds.) (2005), *Food fermentation*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- Samson, R.A., E.S. Hoekstra, J.C. Frisvad & O. Filtenborg (2004), *Introduction to food- and airborne fungi*, 7th ed. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht.
- Steinkraus, K.H. (1996), *Handbook of indigenous fermented foods*. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Wood, B.J.B. (ed.) (1998), *Microbiology of fermented foods*. Blackie Academic and Professional, London.