

Microestructura i propietats dels aliments

La microestructura dels aliments està directament afectada pels canvis químics i bioquímics soferts a través del seu processament, i d'aquesta depenen, majoritàriament, les propietats finals, buscades o indesitjables, de l'aliment elaborat. La microscòpia és la principal eina en l'elucidació de les microestructures dels aliments. S'estudien les característiques dels aliments d'origen animal, com ara la carn, el peix, els làctics i els ous. També es descriuen les microestructures dels aliments d'origen vegetal, com ara els cereals, els llegums, les oleaginoses, els fruits secs, les fruites i les verdures.

PARAULES CLAU: *microestructures dels aliments, microscòpia.*

CONCEPTE I INTERÈS DE LA MICROESTRUCTURA DELS ALIMENTS

El coneixement de la microestructura dels aliments es planteja actualment com un nou desafiament per als avenços tecnològics. Les distintes etapes del processament i l'emmagatzematge dels aliments produeixen modificacions químiques i físiques que es manifesten en canvis macroscòpics que confereixen a l'aliment elaborat els seus atributs característics (textura, color, sabor).

Així, per exemple, es poden esmentar els canvis desitjats totals de la microestructura en aliments en els quals ha desaparegut qualsevol organització del teixit originari vegetal o animal (torró, formatge, xocolata), la recerca d'una microestructura òptima definida per la disposició dels seus components (distribució d'alvèols relacionada amb

els constituents químics i bioquímics en productes de panificació), la reproducció d'una microestructura predefinida en l'obtenció d'aliments elaborats amb una textura determinada com ara el surimi on les proteïnes miofibril·lars són clau en la reproducció artificial d'una organització tissular, etc. Al contrari, en aliments processats que han de retenir l'aspecte d'aliment fresc, l'estructura submicroscòpica original ha de ser respectada al màxim durant els diversos tractaments (vegetals de «quarta gamma», plats preparats). La presència de materials microscòpics aliens a un aliment permet la detecció de frau (productes triturats i pulverulents). La microestructura dels aliments pot considerar-se, a més, com un aspecte que s'ha de tenir en compte en el control de qualitat.

D'altra banda, la microestructura de l'aliment té un paper fonamental en molts processos en els quals els fenòmens de transport,

M. ÀNGELS LLUCH

Departament de Tecnologia d'Aliments,
Universitat Politècnica de València

pel seu interior, són els que defineixen el fonament d'enginyeria del procés i en determinen el mecanisme. Així, cal ressaltar el transport de les substàncies salines i conservants pels espais intercel·lulars i a través de les parets i membranes cel·lulars en l'envinagrat de vegetals i d'adobats de carns (pernil) i peixos (fumats, salats), el transport de la calor en processos tèrmics (esterilització, escaldat, congelació...), la transferència d'aigua i soluts intra- i intercel·lulars, o de calor en processos de deshidratació (assecat per aire calent, deshidratació osmòtica), la transferència de materials en extraccions sòlid-líquid com a fenomen intra- i intercel·lular (extracció d'olis de llavors oleaginoses, extracció de proteïnes vegetals, soja...).

Un aprofundiment en el coneixement de la microestructura dels aliments ha de permetre una millora en la modelització dels processos d'estudi de la microestructura dels aliments i la distribució dels seus components. L'organització en una arquitectura microscòpica definida està reconeguda cada vegada més com un prerrequisit per a la comprensió de les

mic o físic dels aliments que permeti emfatitzar que, en la natura, són materials biològics.

Actualment, la microscòpia en les seves últimes variants, i fonamentalment l'electrònica (d'escombrada SEM, de transmissió TEM), permet disposar d'una potent eina en l'elucidació microestructural dels aliments i en l'establiment de les interrelacions amb el seu comportament físic, químic i bioquímic. L'anàlisi d'imatge acoblada permet, addicionalment, la quantificació de les modificacions morfològiques microestructurals produïdes en el processat d'aliments. Així mateix, amb els actuals sistemes de detecció de raigs X (EDX, WDX) és possible abordar la microanàlisi d'aliments a escala submicroscòpica.

En conjunt, podem dir que hi ha obertes unes amplíssimes perspectives en el camp de la microestructura dels aliments, l'estudi de la qual aportarà indubtables beneficis científics i tecnològics. La microestructura és l'esglaó de coneixement intermedi entre la molècula (l'aliment com a conjunt de components químics) i el menjar (l'aliment que ingerim) i és un nexa

MICROESTRUCTURA I PROPIETATS D'ALIMENTS D'ORIGEN ANIMAL

Carn i productes carnis

Les proteïnes suposen entre el 50 % i el 95 % dels sòlids totals de la carn. Aquest valor depèn del contingut en lípids del teixit. Per això, els estudis microestructurals referents a la carn estan principalment centrats en el seu component majoritari: les proteïnes. L'estructura muscular de la carn és similar en gran part de la majoria de les espècies: les fibres musculars són allargades, polinucleiques, recobertes d'una membrana o sarcolemma i envoltades de teixit connectiu endomisial.

L'estudi de les modificacions microestructurals que es produeixen durant l'etapa *post mortem* proporciona una informació molt útil intermèdia entre els nivells macroscòpics (textura, color...) i molecular (canvis bioquímics). En el múscul acabat de sacrificar, les fibres musculars s'observen íntimament ajuntades entre si, amb la típica estructura de línies Z sobre la superfície i perfectament adherides al teixit conjuntiu endomisial; els diferents feixos estan separats pel perimisi i alhora envoltats per l'epimisi. Després del procés *post mortem* i durant l'emmagatzematge refrigerat, les fibres musculars comencen a degradar-se i es trenquen les connexions, tant entre miofibril·les com entre aquestes i el sarcolemma; d'altra banda, el teixit conjuntiu s'observa amb una estructura més laxa. La microestructura de les fibres musculars del pernil, juntament amb el seu teixit conjuntiu, té un paper important en el comportament durant el procés d'adobat, tant pel que fa al transport de materials (aigua, sals, compostos solubles) com en l'impacte de la proteòlisi i lipòlisi associades; amb l'anàlisi de raigs X acoblada, és possible fer un seguiment de la penetració de les sals d'adob a escala microscòpica. Tots aquests aspectes microestructurals tenen utilitat per al control fi del procés i

La interacció entre proteïnes i greix és fonamental en l'estructura de les emulsions càrnies

seves propietats. En tots aquells casos en els quals interessa descriure, predir i controlar el comportament dels aliments, cal ressaltar la importància d'un perfecte coneixement de la manera que els components alimentaris estan organitzats. Conceptualment, això proporciona un contrapès necessari a l'exclusiu punt de vista quí-

d'unió necessari entre els mecanismes fins de transport (en l'aliment amb organització tissular nativa o sense) i el procés (aliment que s'elabora). Si s'ha d'anar de la molècula a la indústria, el canvi passa per la microestructura. Aquest article pretén mostrar una breu panoràmica sobre tots aquests aspectes.

la racionalització de l'elaboració industrial.

La interacció entre proteïnes i greix és fonamental en l'estructura de les emulsions càrnies. L'observació de salsitxes de Frankfurt per microscòpia electrònica mostra la matriu de proteïna, que envolta gotes de greix de mides diferents; les propietats macroscòpiques texturals i sensorials depenen de l'organització d'aquests elements microestructurals, i d'aquí l'interès del seu control.

Peix i surimi

Les fibres musculars del peix estan organitzades en miòtoms, disposats en cercles concèntrics. Són més curtes que les dels mamífers terrestres, però amb una estructura i disposició espacial semblants. Els canvis en la seva estructura, com a conseqüència del processat, produeixen també modificacions en la seva capacitat de retenció d'aigua. Així, en alguns productes, com ara el surimi, obtingut a partir de proteïnes de peix fresc, la capacitat d'hidratació normalment és elevada i les interaccions aigua-proteïna influeixen de manera decisiva en les propietats del producte final. Així, doncs, aquests aspectes microestructurals han de tenir-se en compte per a la racionalització del procés d'obtenció de proteïnes texturitzades d'aquest tipus.

En els calamars, les proteïnes són les principals responsables de la seva estructura: després de l'aigua (75-84 %), les proteïnes són el component majoritari (13-22 %). En el mantell comestible d'aquest cefalòpode, s'estructuren en forma de fibres musculars que s'agrupen en bandes circumferencials i radials. Els tractaments tèrmics, de cocció o de fritella, com ara la desnaturalització proteica associada, consoliden la seva matriu microestructural, i així condueixen a la textura típica d'aquest aliment.

Productes làctics

La principal proteïna de la llet és la caseïna, aproximadament un 80 % del total, i el 20 % restant el consti-

tueixen les proteïnes solubles i el sèrum. La tendència que tenen les caseïnes a interaccionar amb les proteïnes del sèrum, a agregar-se o hidrolitzar-se per efectes de baix pH, alta temperatura o presència d'enzims proteolítics, constitueix les propietats més importants de la llet per a l'elaboració de productes làctics.

En el iogurt hi ha una matriu tridimensional formada per grànuls de caseïna units en forma de cadenes llargues que immobilitzen la fase líquida, làbil estructura que dóna lloc a la textura característica d'aquest producte lacti.

ara el tall, fet que provoca el seu aspecte típic de greix superficial. La intensitat en l'etapa de premsat influeix directament en la rodonesa dels alvèols i, inversament, en la mida, per la qual cosa és un altre aspecte microestructural d'interès en el control industrial.

Durant el batut d'alguns productes làctics, com ara en l'elaboració dels gelats, es forma una emulsió oli en aigua que incorpora una gran quantitat d'aire en forma de cel·les, d'un diàmetre d'entre 20 i 100 µm. El greix està dispersat en la fase aquosa i també densament empaquetat com a glòbuls en la in-

El greix impedeix el creixement dels cristalls de gel i li proporciona una textura suau i lubricació al paladar

El formatge fresc mostra una matriu tridimensional constituïda per grànuls de proteïnes caseíniques on apareixen inserits els glòbuls de greix. Aquests glòbuls estan envoltats d'una coberta proteica que impedeix que el greix fugi cap a l'exterior, fet que explica l'aparença no greixosa d'aquest tipus de formatge.

Tanmateix, en els formatges madurats, la matriu proteica es torna cada vegada més compacta i es fa més difícil de distingir-hi les estructures globulars natives dels glòbuls proteics. La interacció entre aquests augmenta per efecte de la proteòlisi conforme avança la maduració, la qual cosa dóna lloc a una matriu de proteïna molt més llisa on els glòbuls de greix ja no tenen la coberta proteica, per això poden emigrar i provocar coalescència, sobretot per efectes mecànics, com

terfase aire-aigua, el 50 % de l'aigua del gelat està en forma de gel a la temperatura a la qual s'acostuma a consumir, i la mida mitjana dels cristalls de gel és de 30 µm, però quan aquests superen les 40-50 µm el producte adquireix una textura arenosa.

El greix impedeix el creixement dels cristalls de gel i li proporciona una textura suau i lubricació al paladar. Tot això il·lustra l'interès del control de la microestructura del gelat amb vista a optimitzar la seva qualitat i a controlar el procés de fabricació.

La mantega com a emulsió aigua en oli, presenta gotícules d'aigua disperses de 10 µm de diàmetre. Una fina làmina separa aquestes gotícules entre si i impedeix la coalescència. La microestructura de la mantega mostra glòbuls de greix embeguts en una matriu contínua

de greix lliure; aquests glòbuls han de romandre intactes per mantenir la sensació de frescor en el paladar, per la qual cosa és un aspecte estructural que s'ha de controlar.

Actualment, l'ús d'hidrocoleats en l'elaboració de productes làctics està molt estès. La funcionalitat d'aquests additius és diversa: des d'augmentar el rendiment en la fabricació, fins a disminuir el fenomen de sinèresi, passant per l'ús com a substitutiu de greix en productes desnatats o per modificar les propietats texturals de diferents productes. Per microscòpia electrònica es pot observar la interacció dels hidrocol·loides amb els components microestructurals dels productes làctics. En un formatge fresc elaborat amb pectina, s'aprecia una xarxa de pectina distribuïda uniformement que interacciona amb la matriu proteica i amb la coberta del glòbul de greix. La capacitat de retenció d'aigua de la pectina, juntament amb la seva interacció amb els components del formatge, fa que es pugui obtenir un major rendiment en la fabricació de formatges frescos.

Ous

El rovell conté la major part dels líquids de l'ou i és una emulsió d'oli en aigua que conté gotes de mida variable d'entre 20 i 150 µm i grànuls de mida més uniforme (diàmetre de 0,3 a 0,6 µm) encara que de formes més irregulars. En l'elaboració d'emulsions per a salses comestibles com ara la maionesa, és important el control de la mida dels grànuls del rovell anteriorment descrits, ja que tenen un paper decisiu en l'estructuració del film interfacial que estabilitza l'emulsió oli en aigua.

MICROESTRUCTURA I PROPIETATS D'ALIMENTS D'ORIGEN VEGETAL

Cereals

Els cereals estan formats principalment pel germen i l'endosperma envoltats de diverses capes com ara l'aleurona, la testa i el pericarpi. El component majoritari és el midó

(de mides i formes diferents segons el tipus de cereal) que està empaquetat en les cèl·lules de l'endosperma.

Tanmateix, les proteïnes del blat, que es troben en molta menor proporció que el midó, tenen un paper funcional molt important, ja que són les responsables del desenvolupament de la xarxa de gluten, essencial per a la panificació. Durant la pasterada i el fornejat, la massa adquireix les típiques propietats reològiques i de retenció d'aigua degudes principalment a les interaccions midó-proteïna observables per microscòpia electrònica. La pasterada és decisiva en el desenvolupament de la xarxa tridimensional de gluten que determinarà la viscositat, la plasticitat i l'elasticitat de les masses. Amb l'augment de la temperatura, comença la gelatinització del midó i la desnaturalització per la qual en el fornejat s'aconsegueix l'acabat final del pa amb el desenvolupament de les molles a l'interior i de la crosta a l'exterior. Una fina, però contínua, pel·lícula proteica recobreix la superfície dels alvèols i ajuda a la retenció de gas en el seu interior.

Entre els diferents tractaments a què són sotmesos els aliments tant en l'àmbit industrial com domèstic casolà, una operació molt comuna és la fregida. En les pastes utilitzades per als arrebossats, els aspectes microestructurals més destacats són la generació d'alvèols a causa de la presència d'impulsos en la seva formulació i la presència de glòbuls de greix allotjats, procedents de l'absorció d'oli de fregir per part de la pasta. Aquesta absorció de greix durant el fregit no sols es produeix per part de la pasta de l'arrebossat, sinó que estructuralment s'observa que també arriba fins a l'aliment subjacent que s'utilitza com a substrat per ser arrebossat. Per exemple, en els calamars, que és dels productes arrebossats congelats de més gran consum a Espanya, s'observen gotes de greix entre les seves fibres després del fregit i, a més, també es produeix l'arrosseigament d'altres components de la

pasta, com són els grànuls de midó que apareixen deformats entre les fibres dels calamars. La microestructura és aquí una bona eina per al control del guany de greix.

Llegums

Els llegums constitueixen una aportació important dins la dieta, ja que contenen un percentatge més elevat de proteïnes que altres aliments d'origen vegetal. Les proteïnes en els llegums estan localitzades en les cèl·lules dels cotiledons. Aquestes cèl·lules contenen grànuls de midó el·líptics o esfèrics (8-25 µm d'ample i 10-40 µm de llarg), inserits en una matriu constituïda per cossos proteics esfèrics de mida més petita que els grànuls de midó. Com que les proteïnes i el midó tenen capacitat de retenció d'aigua, intervien activament durant el remull i la cocció dels llegums. Durant el remull, s'observen canvis microestructurals importants: la matriu proteica es desorganitza i els grànuls de midó augmenten de mida. Després del cuinat, el midó es gelatinitza i els cossos proteics es desnaturalitzen com a conseqüència de la calor; aquests canvis faciliten la digestió dels llegums i impacten en la textura final.

Oleaginoses

Una de les característiques més importants de les oleaginoses, quant a la seva composició química, és l'alt contingut en lípids (normalment superior al 20 %). Hi ha una gran quantitat d'oleaginoses importants (llavors: soja, cacauet, colza i girasol; fruits: oliva) tant des del punt de vista nutricional com econòmic perquè són una font d'extracció d'olis comestibles. La llavor de soja mostra els cossos proteics més o menys esfèrics i d'una mida aproximada d'entre 5 i 20 µm envoltats d'una matriu proteica citoplasmàtica. Niats en aquesta matriu citoplasmàtica es poden observar els cossos lipídics o esferosomes d'un diàmetre d'entre 0,2 i 0,5 µm i envoltats d'una membrana fina.

En l'oliva, les cèl·lules del mesocarpi o part comestible al seu in-

terior tenen petites gotes aïllades i el·lipsoïdals, recobertes per una membrana lipoproteica. Aquestes gotes poden provocar coalescència i generar un vacúol central.

La motllura de les oleaginoses provoca una sèrie d'estructuracions de la matriu citoplasmàtica i dels esferosomes; els cossos lipídics s'alliberen i provoquen coalescència en petites gotetes que, finalment, donen lloc a la fase oliosa, les fortes interaccions proteïna-greix estableixen la microestructura de la membrana en la morca. La microestructura proporciona aquí informació sobre l'aptitud per a l'ús industrial del producte final.

Fruits secs

La major part de fruits secs són especialment rics en greix i proteïnes. Quasi tot el cotiledó està constituït per un parènquima de cèl·lules amb una paret cel·lular gruixuda; la membrana citoplasmàtica delimita el contingut cel·lular, on els cossos proteics i els cossos lipídics constitueixen els components majoritaris.

En la superfície dels cossos proteics, s'observa l'empremta dels esferosomes on s'allotjava el greix.

En els fruits secs torrats, com ara l'ametlla, els cossos lipídics alliberats emigren, es reuneixen en forma de petites gotícules i donen l'aspecte greixós característic d'aquests productes. L'ametlla constitueix la principal matèria primera del torró de Xixona, producte típic de la Co-

munitat Valenciana. La microestructura del torró pot ser descrita com una matriu porosa de sucre imbricada amb una fase oliosa, que, com que és líquida, a temperatura ambient proporciona l'aspecte greixós característic d'aquest producte. Dispersos en ambdues fases es troben altres components de l'ametlla, entre els quals destaquen cossos proteics i també fibra procedent de les parets cel·lulars. La coexistència d'ambdues fases amb tots els components microestructurals és fonamental per aconseguir les típiques propietats de textura, aparença i gust d'aquest tipus de torró.

Fruits i verdures

La comprensió del comportament microestructural d'alguns teixits vegetals sotmesos a diferents tractaments és també una eina eficaç en l'estudi de les propietats dels aliments. Un aspecte interessant és l'estudi de l'impacte de la penetració de materials exògens sobre la microestructura del parènquima comestible d'algunes fruites i hortalisses amb la finalitat d'eludir els mecanismes fins que regeixen la transferència de matèria. Per exemple, l'establiment de les relacions entre els fenòmens de transport i les modificacions microestructurals que tenen lloc en la poma durant el procés de deshidratació osmòtica per immersió en xarops de sucres. La zona de parènquima més pròxima a la dissolució osmòtica és la

més malmesa: les cèl·lules s'observen col·lapsades i deformades, els espais intercel·lulars es col·lapsen i s'allarguen, i a través d'aquests el teixit parenquimàtic s'inunda de dissolució osmòtica, molt més com més superficial és. Aquest entorn submicroscòpic més hostil, deprimet en oxigen i en aigua, i enriquit en sucre, afavoreix la inhibició de l'aterrossament enzimàtic. La penetració de l'agent osmòtic, juntament amb la sortida de l'aigua del parènquima, modifica el sabor i la textura, i el coneixement del parènquima a escala microscòpica és interessant per establir models matemàtics fins per a la predicció de la transferència de matèria en els processos industrials.

També es poden apreciar els canvis en la microestructura de la pastanaga sotmesa a un procés d'envinagrat. Quan la pastanaga s'introdueix dins la salmorra, es detecta la penetració de sal per microanàlisi de raigs X-SEM. Des del primer dia de l'envinagrat, i fins al final, el tret microestructural més notable és la invasió salina dels diferents elements estructurals. Els dipòsits salins recobreixen i emmascaren la pràctica totalitat de les parets cel·lulars del parènquima de xilema i floema, i també els conductes traqueals. L'estudi de la penetració salina, a escala microestructural, dona una informació fina i molt valuosa per tal d'optimitzar els temps reals de l'envinagrat en la pràctica industrial. 🥕

