



Composés bioactifs

Gélatines de poisson : Préparation, propriétés et applications

Fish gelatins : Preparation, properties and applications

Mourad JRIDI, Moncef NASRI*

Laboratoire de Génie Enzymatique et de Microbiologie. Université de Sfax.
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax. BP 1173-3038 Sfax. Tunisie

Reçu le 15 mai 2016, Révisé le 10 juin 2016, Accepté le 12 juin 2016

*Auteur correspondant : jridimourad@gmail.com

Résumé Les industries alimentaires et pharmaceutiques du monde entier assistent à une demande croissante en gélatine, un biopolymère qui dérive du collagène. Cette protéine a suscité beaucoup d'attention pour sa biocompatibilité, sa biodégradabilité et pour ses propriétés biologiques et techno-fonctionnelles. Les gélatines porcine et bovine, étant les plus utilisées, sont soumises à de fortes contraintes et scepticismes chez les consommateurs, en raison des préoccupations aussi socioculturelles que sanitaires. Les gélatines de poisson possèdent des caractéristiques presque similaires à celles des gélatines animales (porcine et bovine) et peuvent donc être considérées comme alternative à la gélatine des mammifères. D'autre part, la production de gélatines, à partir des peaux de poisson, contribue aussi à la réduction des sous-produits des industries de la pêche. Etant donné ses propriétés techno-fonctionnelles, la gélatine a de nombreuses applications, notamment dans les domaines alimentaires, pharmaceutiques et photographiques. Cette revue énumère les différents procédés de préparation de gélatine marine et présente leurs principales propriétés et leurs applications potentielles dans plusieurs secteurs industriels.

Mots clés : *Gélatine de poisson, Procédés de préparation, Propriétés physicochimiques, Bio-emballage, Applications alimentaires et pharmaceutiques*

Abstract Foods and pharmaceutical industries all over the world attend an increasing demand for gelatin, a biopolymer derived from collagen. Gelatins are widely used due to their biocompatibility, biodegradation, physical and functional properties. Porcine and bovine gelatins, the most commonly used, are subject to major constraints and skepticism among consumers, this is due to socio-cultural and health-related issues. Therefore, there is an increasing demand for alternative sources. The by-products generated by fish-processing industries are a potential source for the production of gelatins. Fish gelatin possesses interesting characteristics and may thus be considered as an alternative to mammalian gelatin for use in food, pharmaceutical and photographic products. This review enumerates gelatin preparation processes, as well as, their physical properties, and their potential applications in many fields, such as food, pharmacy and photography industries.

Keywords: *Fish gelatin, Extraction process, Physico-chemical properties, Edible film, Food and pharmaceutical applications*

Introduction

La gélatine est industriellement extraite à partir de trois principaux types de matières premières : les peaux de porcs et de bovins et les os. La demande mondiale en gélatine a augmenté au cours de ces dernières années. Des rapports récents indiquent qu'à l'échelle mondiale, la production annuelle de la gélatine est de l'ordre de 326 000 tonnes, dont 46% extraite de la peau de porcs, 29,4% de la peau des bovins, 23,1% des os et 1,5% d'autres sources [1]. Arnesen & Gildberg [2] ont rapporté que la production de la gélatine de poisson reste toujours faible, elle contribue seulement à environ 1% de la production mondiale annuelle de gélatine. Vu les contraintes socioculturelles, la recherche d'autres matières premières pouvant servir à la fabrication de gélatines est donc particulièrement importante, puisqu'elle permet l'obtention d'une variété de gélatines, ayant des propriétés physiques et biologiques différentes de celles qui sont actuellement commercialisées.

Les industries de conditionnement et de transformation des produits de la pêche génèrent des coproduits marins qui présentent plus de 15% de la capture annuelle. Les co-produits sont définis comme les parties non utilisées et récupérables lors des opérations traditionnelles de production et de conditionnement. Traditionnellement, les coproduits (ou déchets) de la pêche sont soit rejetés, soit transformés. Vu leur richesse en

collagène, plusieurs travaux ont été réalisés en vue de valoriser ces rejets par l'extraction de la gélatine. De ce fait, la gélatine marine, extraite à partir des coproduits de transformation de poisson, présente une excellente alternative à la gélatine bovine et porcine, puisque les organismes aquatiques, et spécialement les poissons, contiennent une haute teneur en collagène.

L'avantage majeur de la gélatine, d'origine marine, est qu'elle est acceptable par l'Islam et qu'elle n'est pas associée au risque de la maladie de la vache folle (encéphalite spongiosa bovine). La production de la gélatine marine, par des extractions acides, et ses applications industrielles datent depuis 1960 [3].

La gélatine est une protéine obtenue par hydrolyse partielle du collagène, constituant principal de la peau, les arrêtes et les tissus conjonctifs. La gélatine est largement utilisée dans plusieurs secteurs industriels : alimentaire, pharmaceutique, photographique, etc.

Moyennant différentes méthodes, la gélatine marine a été extraite à partir de plusieurs espèces de poissons et d'invertébrés marins, à savoir la morue (*Gadus morhua*) [4], la perche du Nile (*Lates niloticus*) [5], le thon albacore (*Thunnus albacares*) [6], la courbine barbiche (*Johnius dussumieri*), le comète fine (*Decapterus macrostoma*) [7], le poisson chat (*Ictalurus punctatus*) [8], le thon [9], le calamar (*Dosidicus gigas*) [10], le baliste (*Balistes capricus*) [11], le zebra blenny

(*Salaria basilisca*) [12], la raie bouclée (*Raja clavata*) [13], le poulpe (*Octopus vulgaris*) [14], et la seiche (*Sepia officinalis*) [15].

Cette revue bibliographique donne une vue d'ensemble des différents procédés d'extraction de la gélatine à partir des coproduits de la pêche, de leurs propriétés fonctionnelles, ainsi que de leurs domaines d'application.

La gélatine

La gélatine est obtenue par hydrolyse partielle du collagène, la principale protéine trouvée dans les os et la peau des animaux (porc, bovins...). Sa masse moléculaire varie de 30 à 200 kDa [16]. Elle est constituée de 84 à 90% de protéines et d'environ 1% de sels minéraux. Avec une production annuelle qui dépasse les 326 000 tonnes en 2009, la gélatine est devenue un produit de consommation usuelle que l'on retrouve dans tous les domaines de la vie moderne. Une fois dissoute, la gélatine de poisson a l'avantage d'être inodore et incolore ce qui facilite son utilisation dans les études nutritionnelles chez l'humain.

Il existe deux types de gélatine selon la nature de la matière première et le traitement appliqué pour le gonflement et le ramollissement des peaux. La gélatine de type A, obtenue par traitement acide appliqué pour des matériaux moins réticulés, comme le collagène de la peau de porc et de poisson. Le point isoélectrique est compris entre 6 et 7. La gélatine de type B, obtenue par traitement basique, appliqué pour des collagènes plus complexes, comme ceux du cuir bovin. Le point isoélectrique est voisin de 5.

La gélatine est un polymère naturel, dont l'usage actuel est devenu largement répandu dans les industries agroalimentaire, photographique et pharmaceutique. En effet, la gélatine possède des qualités particulières recherchées par les industries pour obtenir des textures spécifiques. Elle fait partie de la famille des hydrocolloïdes, dont les fonctions principales sont d'épaissir, de gélifier et de stabiliser. La propriété « gélifiante » de la gélatine est la plus connue et la plus utile. Son avantage majeur réside du fait qu'elle est capable de former un gel thermoréversible qui fond à un degré voisin de celui de la température du corps humain, sans modifier la qualité gustative du

produit cible.

L'exemple de gélatines de poisson commercialisées : Gélatine de poisson en poudre 200 BLOOM – TOPCAKE. Référence TC966390. Cette gélatine, issue de peaux de poisson traitées par voie acide, est une alternative à la gélatine porcine ou bovine. Son conditionnement est en pot de 100 g (poudre blanche). Elle est principalement utilisée comme agent gélifiant, mais aussi comme agent foisonnant ou de clarification, stabilisateur, épaississant, liant, etc.

La composition en acides aminés des gélatines, issues de différentes sources, varie en fonction de la matière première et du procédé d'extraction utilisé. Le tableau I présente la composition en acides aminés des gélatines, extraites à partir de certaines espèces de poissons et d'invertébrés marins. Elles sont riches en glycine, un acide aminé caractéristique du collagène, le constituant majeur de la peau des poissons. Les autres acides aminés majoritaires, constituant la gélatine, sont la proline et l'hydroxyproline. La gélatine contient huit acides aminés essentiels, contre un taux élevé d'acides aminés non essentiels. Par ailleurs, il est à noter que les gélatines ne contiennent pas de tryptophane et sont déficitaires en isoleucine, thréonine et méthionine. Par ailleurs, les gélatines de poissons sont caractérisées, également, par des teneurs faibles en imino-acides (proline et hydroxyproline), en comparaison à celles des mammifères. Ces teneurs sont de l'ordre de 25-30% pour les gélatines de mammifères, 18-23% pour la gélatine de poissons d'eau chaude (le tilapia et la perche du Nile) et 16% pour la gélatine de poissons d'eau froide (la morue et le saumon) [4].

La teneur en imino-acides (Pro + Hyp), pour la gélatine de la peau de seiche, est de l'ordre de 178 résidus pour 1000 résidus [15]. Cette teneur en imino-acides est plus élevée que celle de la gélatine de baliste (150 résidus pour 1000 résidus) [11], mais inférieure à celle du poisson-chat géant (211 résidus pour 1000 résidus) [17].

Procédés de préparation de gélatines de poisson

D'une manière générale, les procédés de fabrication de gélatines, à partir des peaux de poisson, se réalisent en quatre étapes : prétraitement, solubi-

Tableau I. Composition en acides aminés de quelques gélatines de poisson

Acides aminés	Morue	Colin d'Alaska	Lingue	Cardine	Tilapia	Seiche	Poulpe
Ala	96	106	119	123	94	123	52
Arg	56	51	54	54	54	47	20
Asx	52	51	49	48	60	48	35
Cys	0	0	0	0	0	0	0
Glx	78	74	74	72	82	69	54
Gly	344	358	331	350	325	347	310
His	8	8	10	8	17	6	165
Hyl	6	6	5	5	0	8	0
Hyp	50	55	59	60	87	79	45
Ile	11	11	9	8	23	8	68
Leu	22	20	23	21	10	23	31
Lys	29	26	28	27	27	25	14
Met	17	16	15	13	4	9	7
Phe	16	12	15	14	10	13	31
Pro	106	95	114	115	91	119	56
Ser	64	63	49	41	51	35	33
Thr	25	25	22	20	21	24	64
Trp	0	0	-	-	-	0	-
Tyr	3	3	4	3	5	2	6
Val	18	18	19	18	23	15	39
Imino acides (Pro+Hyp)	156	150	173	175	178	196	101
Références	[16]	[16]	[16]	[16]	[15]	[15]	[14]

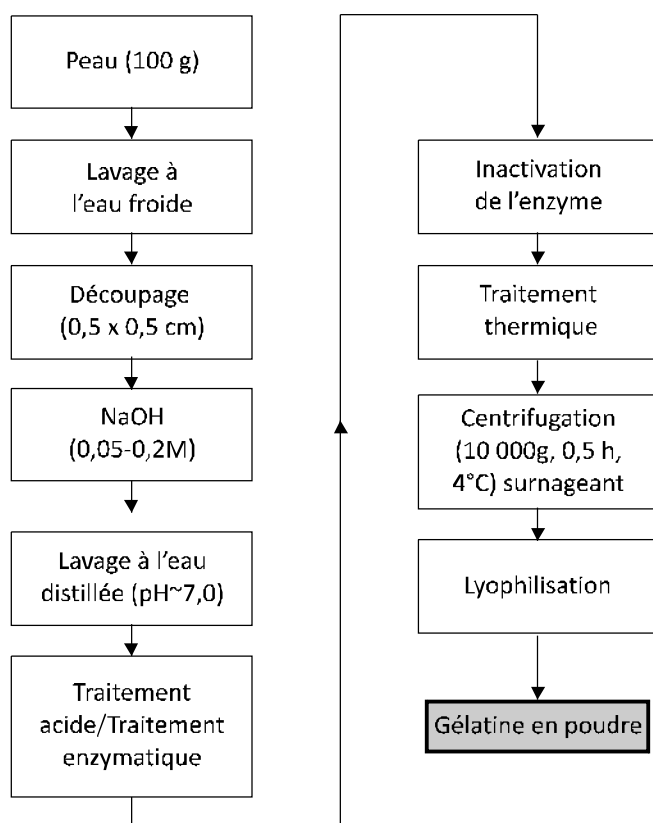


Fig. 1. Diagramme d'extraction de la gélatine à partir des peaux de poisson et d'invertébrés marins

lisation du collagène, traitement thermique et raffinement (Fig. 1). Le collagène des poissons n'étant pas très réticulé, deux types de traitement peuvent être appliqués: le procédé acide et le procédé enzymatique.

Procédé acide

Prétraitement : Les peaux de poisson fraîches ou partiellement séchées sont, soit découpées en morceaux, soit broyées. Elles subissent, ensuite, un traitement par une solution de NaOH (0,05-0,2 M), pendant au moins 2 heures à température ambiante (environ 15 à 25±1°C), pour éliminer les pigments et les protéines non collagènes. Les peaux, ainsi traitées, sont par la suite abondamment lavées à l'eau de robinet pour éliminer l'excès de base, puis le pH est ajusté à 7,0.

Solubilisation du collagène : Traitement acide : La peau traitée par la solution alcaline est immergée, sous agitation, dans une solution aqueuse d'acide organique, tels que l'acide acétique, l'acide citrique (0,2 M), avec un ratio de 1:10 (w/v) à titre d'exemple, ou d'acide minéral (acide sulfurique, acide chlorhydrique, acide nitrique). Le traitement acide est effectué, à température ambiante (environ 15 à 25 °C), pendant 4 à 48 h, selon la nature de la matière première et la concentration de l'acide utilisé. Après incubation, le pH du mélange est ajusté à 7,5, puis le mélange est maintenu sous agitation douce, pendant au moins une heure à 4°C.

Le prétraitement acide doux permet de rompre certaines liaisons (non covalentes intra et intermoléculaires) du collagène de peau de poisson [3]. Il a

pour objectif le gonflement et le ramollissement des peaux en préparation à la dénaturation et l'extraction de la gélatine.

Le type d'acide utilisé, sa concentration et le temps de traitement influent sur les propriétés viscoélastiques et de gélification.

Conversion du collagène en gélatine par traitement thermique : Cette étape est le résultat de la dénaturation de la structure tertiaire de la triple hélice du tropocollagène. L'extraction est effectuée dans un milieu neutralisé (pH~7,5). Le collagène, partiellement purifié, est converti en gélatine par extraction à une température > 50°C pendant plusieurs heures, sous agitation continue de 200 rpm.

Les conditions d'extraction (notamment la température et la durée d'extraction) peuvent affecter la longueur des chaînes peptidiques, et par conséquent, les propriétés physico-chimiques, texturales et techno-fonctionnelles des gélatines résultantes.

Raffinement : Enfin, la solution de gélatine est collectée par décantation ou par filtration, clarifiée puis séchée. Le séchage permet l'obtention de la gélatine sous forme d'une poudre fine et stabilisée. La qualité et la pureté de la gélatine sont ensuite garanties par de minutieux contrôles physico-chimiques et bactériologiques.

Plusieurs travaux ont mis en exergue l'influence du type et de la source de la matière première sur le rendement d'extraction de gélatine obtenu, qui varie de 5,5 à 21% de la masse de la matière première [5,18,19]. Cette variation est attribuée, essentiellement, à la différence de la teneur en collagène dans la matière première utilisée.

Le tableau II illustre quelques procédures appliquées pour l'extraction des gélatines, à partir de plusieurs espèces d'organismes marins.

Procédé enzymatique

Le procédé enzymatique se distingue des procédés connus par l'étape de solubilisation du collagène qui est assurée par un traitement enzymatique, nécessitant une protéase acide, tels que la pepsine ou des extraits digestifs acides. Ces enzymes acides peuvent être utilisées à des concentrations allant de 2,5 à 15 U/g de matière première. Le traitement enzymatique est effectué pendant 18 h à pH 3,0 et à 4°C.

Le procédé enzymatique permet ainsi l'obtention d'une gélatine de poisson gélifiante de haute qualité, sans goût ni odeur de poisson. Toutefois, l'utilisation d'une dose en enzyme élevée ou un traitement prolongé conduit à l'obtention d'une gélatine non gélifiante, due à l'extension de l'hydrolyse de la gélatine.

L'intérêt du procédé enzymatique est multiple. Le traitement améliore considérablement le rendement d'extraction de la gélatine; il permet l'obtention d'une variété de types de gélatines, selon notamment la teneur en enzyme, présentant des propriétés thermiques, mécaniques, et voire même fonctionnelles et biologiques différentes.

Nalinanon *et al.* [20] ont montré que l'utilisation de la pepsine permet d'améliorer le rendement d'extraction de gélatine de la peau de beauclaire. De même, dans des travaux antérieurs, nous avons aussi montré que l'ajout de la pepsine commerciale (avec une concentration de 5 U/g de peau) augmente le rendement de la gélatine, extraite à partir de la peau de la seiche qui passe de 3 à 7% [15]. Il est bien connu que la pepsine hydrolyse efficacement le site de réticulation intermoléculaire du collagène, ce qui accélère la solubilisation du collagène à des pH acides. Une amélioration des rendements d'extraction de la gélatine, par traitement enzymatique, à partir de la raie bouclée, a été aussi rapportée par Lassoued *et al.* [13]. Le rendement, suite à un traitement dans une solution aqueuse d'acide acétique, est de 18,32%, alors qu'il est de 30,16% dans la même solution, additionnée de pepsine, à raison de 5 U/g de peau. Ces résultats démontrent que le rendement dépend des conditions d'extraction et de la nature de la matière première utilisée.

Caractérisation physicochimiques des gélatines de poisson

Propriétés rhéologiques et texturales

L'un des principaux critères utilisés pour déterminer la qualité de la gélatine est le "Bloom".

Ce dernier est l'unité qui mesure le pouvoir gélifiant de la gélatine. Plus la valeur du Bloom est élevée, plus la force en gel est importante. Cette propriété varie selon la masse moléculaire, la composition en acides aminés, ainsi que le rapport

Tableau II. Différentes procédures d'extraction de gélatine à partir des espèces d'origine marine

Espèces	Procédures d'extraction	Références
Baliste (<i>Balistes caprisus</i>)	Traitement par une solution de NaOH 0,2 M (1:10 m/v) pendant 1,5 h à 4°C puis lavage avec l'eau distillée jusqu'à neutralité. Puis immersion dans une solution d'acide acétique 0,05 M (1:10 m/v) à 4°C pendant 6 h. L'extraction de la gélatine est effectuée dans l'eau distillée à 50°C pendant 18 h.	[11]
Zebra blenny (<i>Salaria basilisca</i>)	Prétraitement alcalin, traitement acide ou enzymatique (pepsine) puis traitement thermique.	[12]
Raie bouclée (<i>Raja clavata</i>)	Prétraitement alcalin, traitement acide ou enzymatique (pepsine) puis traitement thermique.	[13]
Poulpe (<i>Octopus vulgaris</i>)	Prétraitement alcalin, un traitement enzymatique (pepsine) extraction à chaud.	[14]
Seiche (<i>Sepia Officinalis</i>)	Prétraitement alcalin, un traitement enzymatique (pepsine) extraction à chaud.	[15]
Beauclaire (<i>Princanthus tayenus</i>)	Traitement alcalin par une solution de NaOH 2,5 mM pendant 2 h à 28°C, ensuite incubation dans une solution d'acide acétique 0,2 M (1:10) en présence de la pepsine à 4 °C pendant 24 h. Extraction à 45 °C pendant 12 h sous une agitation douce à pH 7,5.	[20]
Esturgeon japonais (<i>Acipenser schrenckii</i>)	Prétraitement alcalin puis acide avec un dégraissage par l'alcool butylique suivis par un traitement thermique.	[21]
Saumon noir (Cobia) (<i>Rachycentron canadum</i>)	Prétraitement alcalin, traitement acide suivis par un traitement thermique.	[22]
Seiche (<i>Sepia pharaonis</i>)	Prétraitement alcalin avec un blanchiment par le H ₂ O ₂ suivi d'un traitement thermique.	[23]
Tilapia (<i>Tilapia zillii</i>) (écailles)	Prétraitements alcalin et acide suivis par un traitement thermique à différents pH.	[24]
Carpe argentée (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	Prétraitements alcalin et acide avec un dégraissage par l'isopropanol suivis par un traitement thermique.	[25]
Morue du Pacifique (<i>Gadus macrocephalus</i>)	Traitement alcalin suivi par un traitement thermique puis hydrolyse enzymatique par les endopeptidases gastriques (pepsine, trypsine et α -chymotrypsine).	[26]
Carpe herbivore (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)	Traitement acide par une solution de HCl (0,1-0,3%) puis incubation à 7 °C. L'extraction, précédée par un lavage à l'eau, est réalisée à différentes températures allant de 40 à 80 °C sous une agitation de 180 rpm.	[27]

entre les deux chaînes α et β (α/β), présentes dans la structure de la gélatine [28,29]. Généralement, la force du gel de la gélatine commerciale est comprise entre 100 et 300 g. Toutefois, une gélatine avec une force de 250 à 260 g est la plus demandée. Le tableau III montre quelques valeurs des températures de fusion et de gélification et la force du gel de certaines gélatines d'origine marine. Les valeurs diffèrent d'une gélatine à une autre, selon la composition en acides aminés et les conditions d'extraction. D'autre part, la gélatine, à haut degré Bloom, a une température de gélification plus élevée que la gélatine à faible degré Bloom. Vu la carence en hydroxyproline et en proline, par rapport à la gélatine bovine, les gels des gélatines marines sont caractérisés par une dureté inférieure à celle de la gélatine bovine [29]. De même,

Tableau III. Propriétés physiques de certaines gélatines de poissons et d'invertébrés marins

Espèces	Température de fusion (°C)	Température de gélification (°C)	Force de gel (g)	Références
Morue	13,8	11-12	~90	[29]
Merlu	14	11-12	~110	[29]
Sole	19,4	18-19	350	[29]
Cardine	18,8	18-19	240	[29]
Courbine	18,5	7,1	124,9	[7]
Carangue	24,5	9,9	176,9	[7]
Perche du Nil	26,3	13,8	222	[5]
Carpe herbivore	26,8	19,5	267	[27]
Albacore	24,3	18,7	426	[6]
Merlu	12-13	11	150	[2]
Barbue	23-27	15-18	243-256	[8]
Seiche	19-25	12-21	120-198	[15]
Poulpe	19-24	13-19	62-283	[14]

les températures de gélification et de fusion des gélatines marines sont inférieures à celles de la gélatine bovine [24,30].

Dans le cas des gélatines pepsiques, les propriétés physiques des gélatines extraites dépendent de la dose d'enzyme utilisée [15]. Les gélatines G0, G5, G10 et G15, obtenues par extraction avec 0, 5, 10 et 15 U pepsine/g de peau, possèdent des valeurs en g de l'ordre de 198, 197, 162 et 120, respectivement [15]. Ces résultats prouvent que la solubilisation du collagène, par un traitement enzymatique, diminue la dureté de gel et favorise le clivage des chaînes α dans les régions télo-peptidiques et élabore des fragments de faible poids moléculaires. Plus la dose d'enzymes appliquée est élevée, plus le degré bloom est faible.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que la gélatine est douée d'un pouvoir de rétention d'eau assez important. En effet, la gélatine gonfle et absorbe environ 5 à 10 fois son volume d'eau, une fois plongée dans l'eau froide. Toutes ces caractéristiques confèrent à la gélatine des propriétés fonctionnelles intéressantes, d'où son utilisation fréquente dans les industries alimentaires. En effet, dans les produits laitiers, la gélatine offre des propriétés texturales spécifiques qui donnent un aspect fondant dans la bouche et onctueux, similaire à celui des graisses. La gélatine est généralement utilisée avec des doses allant de 5 à 12% de la totalité du produit final.

Capacité émulsifiante et pouvoir moussant

Grâce à ses propriétés tensioactives, la gélatine est utilisée comme un agent émulsifiant et moussant dans de nombreux produits alimentaires, pharmaceutiques, cosmétiques et même médicaux. En effet, des études précédentes ont prouvé que la gélatine peut jouer le rôle d'un agent émulsifiant dans les émulsions huile/eau [31]. Les résidus hydrophobes, contenus dans les chaînes peptidiques de la gélatine, sont responsables de ces capacités émulsifiantes et moussantes [32]. Néanmoins, peu de travaux ont rapporté, à ce jour, les pouvoirs émulsifiants et moussants des gélatines d'origine marine.

D'autre part, la gélatine est considérée comme un excellent surfactant, en raison de sa structure amphiphile capable d'exposer, à la fois, des groupements hydrophiles et hydrophobes à l'interface

huile-eau [33]. Les gélatines de poissons génèrent des émulsions, de bonnes qualités, quels que soient la concentration ionique et le pH, mais qui varient en fonction de la structure et la composition de ces protéines [18]. En général, les émulsions, produites par la gélatine des poissons, possèdent une stabilité moyenne.

Les propriétés fonctionnelles, biologiques, thermiques et mécaniques diffèrent d'une gélatine à une autre. Elles sont fonction de la matière première utilisée, de la composition en acides aminés, de la distribution en masse moléculaire, et notamment les conditions d'extraction.

Propriétés thermiques

L'une des principales caractéristiques de la gélatine est sa capacité à former des gels thermoréversibles transparents. Elle se solidifie, une fois refroidie, et fond lorsqu'elle est chauffée (à 37 °C, la température du corps).

Applications et potentialités d'application des gélatines

La gélatine de poisson est adaptable à toutes les applications traditionnelles des gélatines, puisqu'elles possèdent des caractéristiques similaires à celles des gélatines animales. Elles peuvent avantageusement être utilisées, à titre d'ingrédients, dans les domaines alimentaires, pharmaceutiques, photographiques, etc.

Applications alimentaires

La gélatine est un ingrédient traditionnel, largement utilisée dans de nombreuses préparations alimentaires, grâce à sa texture agréable et son caractère fondant, ses qualités moussantes et gélifiantes, à côté de sa solubilité et sa compatibilité avec les sucres et les sirops de glucose, souvent utilisés dans la confiserie. La gélatine est aussi utilisée dans les produits laitiers, les boissons, l'industrie des viandes, etc. La raison principale de son utilisation, en industrie alimentaire, est sa thermo-réversibilité. Les bonbons gélifiés sont parmi les produits qui utilisent habituellement la caractéristique de thermo-réversibilité de la gélatine. L'incorporation de la gélatine, dans les

produits des confiseries gélifiées, permet de donner des formes souples, originales et attrayantes aux consommateurs. Il existe, à titre d'exemple, sur le marché des bonbons halal gélifiés, à base de gélatine de poisson (aromatisé, goût cerise et cola). La gélatine est utilisée en tant que stabilisant dans des émulsions. De plus, cette protéine est un excellent support d'arômes à des concentrations relativement faibles.

L'incorporation de la gélatine, dans les gelées et les émulsions de viande, permet d'attribuer une valeur nutritionnelle et techno-fonctionnelle. Introduite dans les saucissons de viande (salami, jambon), la gélatine améliore le rendement de cuisson et les propriétés texturales de ces produits. De plus, elles peuvent être utilisées pour augmenter la teneur protéique des saucissons de faible valeur nutritionnelle, préparés à base de viande séparée mécaniquement. La gélatine est, également, utilisée dans les industries des jus de fruit, notamment, dans la clarification du jus de pomme. Récemment, nous avons montré que l'ajout de la gélatine de la peau de seiche commune, à raison de 1% dans du saucisson, à base de viande de dinde, séparée mécaniquement, réduit le phénomène d'exsudation d'eau et d'huile, au cours de sa conservation à 4 °C pendant un mois [34].

Applications pharmaceutiques

Dans le domaine pharmaceutique, la gélatine connaît de nombreuses applications, grâce à ses propriétés gélifiantes, à des températures proches de la température ambiante et à son aptitude à former des films homogènes. D'autre part, en tant que produit naturel extrait à partir de matières premières biologiques, la gélatine ne présente pratiquement pas de potentiel allergisant et elle est, par conséquent, bien tolérée.

Gélules et capsules : Dans l'industrie pharmaceutique, la gélatine est l'un des principaux constituants des gélules (employées pour les médicaments liquides) et des capsules (utilisés pour les poudres). Le poids de l'enveloppe des gélules et des capsules des compléments alimentaires peut représenter jusqu'à 26% du poids total du produit fini. La fine enveloppe de gélatine, qui recouvre les gélules et les capsules, assure la cohésion et la

conservation des principes actifs. Elle protège aussi les médicaments des effets néfastes de la lumière, de l'humidité et de l'oxygène. De plus, elle facilite l'administration des médicaments, par voie orale, et masque le goût et l'odeur désagréables de certains ingrédients. Certaines gélules sont conçues à partir de gélatine de poisson d'élevage de haute qualité.

Eponge de gélatine : Les éponges de gélatine sont utilisées en médecine dentaire et en chirurgie. Elles ont un effet hémostatique et sont entièrement absorbées par le tissu corporel, au cours de la cicatrisation. Elles se caractérisent par une forte capacité d'absorption du sang et des exsudats. La gélatine servira de pansements, et notamment de matrice pour la diffusion lente des principaux actifs, incorporés dans son réseau protéique, permettant ainsi une meilleure cicatrisation des plaies d'excision [35].

Il existe de nombreux produits cicatrisants, dont l'efficacité est largement reconnue, mais il y a parfois des échecs thérapeutiques. Le principal inconvénient de l'utilisation des compresses traditionnelles (polyester et/ou coton), en dépit de leur faible coût, est l'obligation de les changer fréquemment, pour préserver les tissus en cours de régénération [36].

Ces bio-pansements possèdent l'avantage d'être biocompatibles, biodégradables, et dans certains cas, additionnés par des agents antibactériens, antioxydants ou bien des facteurs de croissance.

La gélatine est parmi les hydrocolloïdes les plus étudiés, en raison de sa disponibilité et de son prix qui devient très compétitif. L'utilisation des films de gélatine, comme pansements, additionnés par des facteurs de croissances épithéliales, a été étudiée par Tanaka *et al.* [37]. Les films de gélatine montrent leurs effets potentiels sur l'accélération du processus de la cicatrisation, plus particulièrement, sur la croissance des cellules épithéliales et kératinocytaires. D'autre part, l'utilisation de la gélatine, comme un hydrogel de pansement, pourrait jouer le rôle d'un support pour la prolifération cellulaire, et agir comme un substitut pour le derme [38].

Gélatine et médecine d'urgence : La gélatine est également utilisée en médecine d'urgence dans les liquides de remplissage vasculaire pour stabiliser ou augmenter le volume du sang circulant.

Microcapsules de vitamine : La gélatine est égale

ment utilisée dans la production de comprimés effervescents de vitamine. Pour assurer une meilleure conservation et protection vis-à-vis de l'oxygène et de la lumière, les vitamines A et E sont encapsulées par des microcapsules à base de gélatine.

Industrie photographique

Les produits photographiques à base de sel d'argent sont constitués de plusieurs couches de gélatine (jusqu'à 15), qui sont coulées sur film ou sur papier. La gélatine est utilisée, comme liant, pour les sels d'argent, hautement photosensibles. Les gélatines photographiques sont de type B, obtenues par traitement alcalin.

Application dans le développement d'emballages comestibles actifs pour la conservation des produits agro-alimentaires

Un emballage comestible est un enrobage (couche mince protectrice), ou film à base de biopolymères naturels (tels que les polysaccharides (cellulose et dérivés, amidon et dérivés, chitine et chitosane, etc.), les protéines (caséine, gélatine, etc.), les polyesters.) qui possède des propriétés sélectives ou actives vis-à-vis des transferts. Il fait partie intégrante de l'aliment et peut être consommé comme tel. La gélatine est un excellent agent filmogène et constitue, donc, un biopolymère de choix et une alternative intéressante, pour le développement d'enrobages et de films comestibles.

L'enrobage est un procédé industriel qui consiste à appliquer, par immersion ou pulvérisation, une couche de biopolymère naturel (comprise entre 7 et 10 μ) sur la surface de l'aliment, afin de lui conférer son aspect final et des propriétés particulières. Cet enrobage est naturel et reste invisible après gélification.

Le rôle des emballages comestibles ne se limite pas, uniquement, à l'effet barrière contre l'eau et l'air entre l'aliment et le milieu extérieur, mais participe, également de manière active, à maintenir sa fraîcheur et à augmenter la durée de vie de certains produits agro-alimentaires. D'autre part, les propriétés biologiques des emballages peuvent être améliorées, par ajout de composés actifs naturels qui confèrent aux emballages des proprié-

tés antioxydantes et/ou antimicrobiennes. L'utilisation de ces enrobages serait un atout pour réduire le gaspillage alimentaire. Toutefois, l'efficacité de ce système de conditionnement dépend de plusieurs facteurs, tels que la composition des aliments, les caractéristiques physicochimiques des bio-polymères et des additifs (tels que les antioxydants, le plastifiant) utilisés, et des conditions de préparation.

Plusieurs études ont montré que l'utilisation de la gélatine, sous forme de film ou gel d'enrobage, permet de prolonger la durée de vie des fruits, des légumes et d'autres aliments. Dans ce cadre, Gomez-Guillen & Montero [29] ont montré que l'application de films de gélatine, additionnés d'extraits phénoliques, doués de propriétés antioxydantes, sur la surface de poissons salés ou fumés, augmente la durée de conservation des produits par la réduction de l'oxydation des lipides, durant le stockage à l'état réfrigéré. Plus récemment, Wu *et al.* [25] ont rapporté que l'enrobage de la chair des poissons, par une solution filmogène de gélatine, extraite à partir de la peau du carpe (*Hypophthalmichthys molitrix*), réduit la contamination microbienne et prolonge sa durée de conservation. De même, la durée de conservation de la viande a été prolongée, par l'application du film de gélatine enrichi par des huiles essentielles, possédant des propriétés antimicrobienne et antioxydante [25].

Généralement, le film de gélatine marine possède de bonnes propriétés barrières aux gaz et à la vapeur [39], de bonnes propriétés mécaniques et des pouvoirs antioxydants [18]. Toutefois, les films de gélatine de poissons sont caractérisés par une faible élasticité. Le tableau IV présente quelques études qui ont été focalisées sur la préparation de films d'emballage à partir de différentes gélatines marines [39-44].

Les propriétés barrières et/ou biologiques des films peuvent être améliorées par l'utilisation de mélanges de polymères. Le Tableau V montre des exemples de films composites contenant de la gélatine en combinaison avec d'autres polymères [9,25,43,45-52].

Des films composites, à base de gélatine de la peau de seiche et de chitosane à différents ratios, ont été préparés [45]. Les films de gélatine, contenant le chitosane, possèdent une meilleure résistance à la rupture et s'allongent moins que ceux préparés

Tableau IV. Gélamines marines utilisées dans la préparation de films biodégradables

Source de gélatine	Plastifiant	Références
Seiche (<i>S. officinalis</i>)	Glycérol	[40]
Moru, Aiglefin.	Glycérol	[41]
Tilapia	Glycérol	[42]
Seiche (<i>Sepia pharaonis</i>)	Glycérol	[43]
Vivaneau rouge	Glycérol	[44]
Calamar	GlycérolSorbitol	[18]
Colin d'Alaska	-	[39]

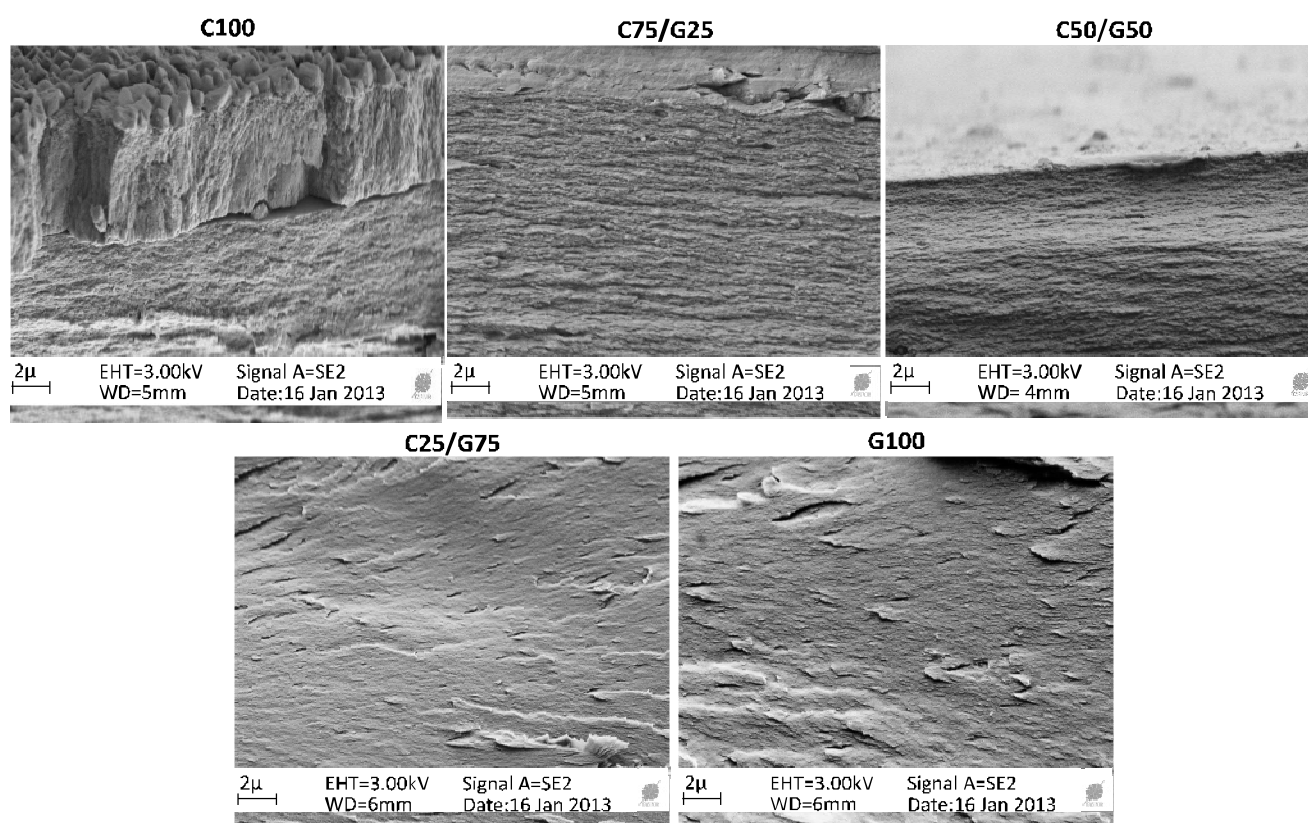
par la gélatine seule. De plus, l'ajout du chitosane, à 25% ou 50% dans la solution filmogène de la gélatine, a permis d'améliorer les performances physico-chimiques des films de gélatine, sans affecter les propriétés antimicrobiennes du chitosane ou l'effet antioxydant de la gélatine.

Les micrographes électroniques des coupes transversales des films composites, présentés sur la Fig. 2, montrent une structure compacte et homogène, avec l'absence des espaces vides. Ceci

Tableau V. Films composites préparés à partir de gélamines marines et d'autres copolymères

Source de gélatine	Plastifiants	Copolymères	Références
Seiche (<i>S. officinalis</i>)	Glycérol	Chitosane	[45]
Carpe	Glycérol	Chitosane	[25]
Colin d'Alaska	-	Chitosane	[46]
Thon	Glycérol et sorbitol	Chitosane	[9]
Morue, Aiglefin	Glycérol et sorbitol	Ligno-sulfonate	[47]
Gélatine de poisson commerciale	Glycérol et sorbitol	Lignine	[48]
Seiche (<i>S. pharaonis</i>)	Glycérol	Protéine de <i>P. aureus</i>	[43]
Morue	Glycérol	Protéine de Soja	[49]
Tilapia	-	α -carragheenane	[50]
Requin	Glycérol	Acide oléique	[51]
Morue	Glycérol et sorbitol	Huile de tournesol	[52]

confirme que le chitosane et la gélatine, utilisés pour la préparation des films biodégradables, sont complètement miscibles, quel que soit le rapport gélatine/chitosane utilisé.

**Fig. 2. Observation par microscopie électronique à balayage des coupes de films composites gélatine/chitosane [40].**

C100 : chitosane 100% ; C75/G25 : chitosane 75%/gélatine 25% ; C50/G50 : chitosane 50%/gélatine 50% ; C25/G75 : chitosane 25%/gélatine 75% ; G100 : gélatine 100%.

Tableau VI. Hydrolysats de gélatine

Espèces	Préparation enzymatique	Activité biologique	Références
Tilapia	Extrait protéolytique à partir du latex du papayer (<i>Carica papaya</i>)	Antioxydante	[57]
Seiche (<i>S.officinalis</i>)	Alcalase commerciale	Antioxydante	[58]
	Protéases bactériennes(<i>Bacillus</i>)		
Saumon Pacifique(<i>Oncorhynchus keta</i>)	Deux protéases commerciales (Papaïne et Neutrase)	Anti-tumorale	[59]
Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Deux enzymes commerciales (Propérase E et Multifect Neutral)	Antioxydante	[60]
Calmar (<i>Dosidicus eschrichtii</i>)	Pepsine commerciale	Antioxydante	[61]
Encornet géant (tuniques interne et externe) (<i>Dosidicus gigas</i>)	Sept protéases commerciales (Protamex, Trypsine, Neutrase, Savinase, NS37005, Espérase et Alcalase)	Antioxydante	[62]
Bigeye snapper (<i>Priacanthus macracanthus</i>)	Extrait protéolytique à partir du cæcum pyrolique de l'Alcalase, du <i>P. macracanthus</i> et du Neutrase	Antioxydante	[63]
Sole et calmar	Alcalase commerciale	Antioxydante	[18]
Encornet géant (<i>Dosidicus gigas</i>)	Alcalase commerciale	Antioxydante	[19]
Raie bouclée	Protéases de <i>Bacillus subtilis</i> A26 et Neutrase	Antioxydante et anti-ECA	[55]

Hydrolysats de gélatine marine : mise en évidence des activités biologiques

L'hydrolyse enzymatique, appliquée aux produits et co-produits marins, riches en protéines, constitue l'une des voies de valorisation de ces ressources, permettant l'obtention de nouvelles molécules bioactives.

Plusieurs travaux ont rapporté que ces produits d'hydrolyse possèdent diverses propriétés technofonctionnelles [53] (notamment la solubilité, les pouvoirs émulsifiant et moussant), à côté de leurs activités biologiques (antioxydante [54,55] et antihypertensive [56]).

La gélatine, suite à son hydrolyse par certaines enzymes protéolytiques, donne naissance à des hydrolysats, ayant des activités biologiques intéressantes. Le tableau VI, illustre quelques exemples d'hydrolysats de gélatine marine [55, 57-63].

Dans ce contexte, Alemán *et al.* [62] ont préparé des hydrolysats à partir des gélatines extraites des peaux de calmar (*Dosidicus gigas*), thon (*Thunnus spp*) et flétan (*Hypoglossus spp*), en utilisant des protéases bactériennes. Ces hydrolysats possèdent des activités antioxydantes intéressantes. Plus récemment, Jridi *et al.* [58] ont préparé plusieurs types d'hydrolysats de gélatine de la

peau de seiche, utilisant différentes préparations enzymatiques bactériennes. Tous les hydrolysats ont manifesté différents degrés d'activités antioxydantes. De plus, ces hydrolysats se trouvent stables dans une large gamme de pH (1,0 à 9,0), suite à un traitement thermique (100 °C pendant 240 min) et à une simulation de la digestion gastro-intestinale. L'incorporation de l'hydrolysat de gélatine, obtenue, par l'Alcalase dans la formulation du saucisson de dinde, à raison de 0,5 g/100 g de saucisson, a permis de ralentir les réactions d'oxydation et de réduire la flore d'altération, assurant ainsi une meilleure conservation.

Les activités biologiques, détectées dans les produits d'hydrolyse de la gélatine, résultent de la présence de peptides bioactifs, appelés biopeptides. Les peptides actifs sont des fragments de protéines, ayant une taille comprise entre 3 et 20. Ces peptides peuvent se comporter comme des modulateurs potentiels de divers processus biologiques. Dans ce contexte, Kim *et al.* [64] ont purifié deux peptides, doués d'une forte activité antioxydante, à partir d'hydrolysat de la gélatine de peau de colin d'Alaska. Les deux peptides renferment un résidu Gly à l'extrémité C-terminale et le motif répétitif Gly-Pro-Hyp. La capacité des hydrolysats des gélatines des peaux de Tilapia, à

exercer un pouvoir antiradicalaire, a été reportée par Vo *et al.* [65].

Récemment, Lassoued *et al.* [55] ont mis en évidence, dans les hydrolysats protéiques de la raie bouclée, obtenus par les enzymes de *Bacillus subtilis* A26 et la Neutrase, des activités antioxydante et anti-ECA (enzyme de conversion de l'angiotensine, impliquée dans la régulation du système rénine-angiotensine-aldostérone). Après fractionnement par chromatographie gel filtration G-25 et RP-HPLC sur colonne C18, et en utilisant une étude peptidomique, des dizaines de peptides ont été identifiés dans les sous-fractions les plus actives, dont quelques uns ont été retenus, comme potentiellement actifs et leur activité a été confirmée *in vitro*, suite à leur synthèse chimique (Tableau VII).

Tableau VII. CI_{50} des peptides synthétiques de la raie bouclée [55].

Peptide	CI_{50} (μM)
APGAP	170,28
GEPGAPGPA	4200,49
GPRGAPGPA	> 6000
APGAP + GEPGAPGPA + GPRGAPGPA	137,72
FGYGG	230,69
IGPAG	2754,22
GIPGAP	27,90
IGAPGATGPAG	1256,02
GEAGNPGPAGP	4425,88
MRG	40,80

Le peptide GIPGAP possédant un résidu proline à l'extrémité C-terminale exerce l'activité anti-ECA la plus élevée. Ceci est en parfaite corrélation avec la littérature, qui décrit que les peptides, ayant une forte inhibition de l'ECA, contiennent un résidu Pro ou des acides aminés aromatiques (Trp, Tyr, Phe) au niveau de leur extrémité C-terminale.

Conclusion

La demande croissante en gélatine encourage la voie de recherche et d'exploration de la gélatine marine, comme une alternative pour la gélatine de mammifère. La gélatine de poisson possède les mêmes propriétés que les gélatines animales. Elle est donc polyvalente et est adaptable à toutes les applications traditionnelles de la gélatine. D'ailleurs, plusieurs types de gélatines, issus des

peaux de poisson traitées par voie acide, sont actuellement commercialisés. Comme les bonnes pratiques de fabrication (BPF) et l'analyse des risques et la maîtrise des points critiques (HACCP) représentent les points clés dans la fabrication des aliments, la recherche future doit être orientée vers le développement de procédés, permettant d'améliorer la qualité des gélatines obtenues, à partir des peaux de poisson, notamment, celles à usage pharmaceutique et alimentaire.

Les travaux en cours portent également sur l'utilisation de la gélatine de poisson, en tant qu'ingrédient ou bio-polymère, pour le développement de nouveaux enrobages protecteurs comestibles actifs, avec des propriétés antimicrobienne et antioxydante. Ces derniers lui acquièrent un excellent pouvoir de conservation des produits agro-alimentaires, tels que les viandes fraîches et les fruits frais coupés. Toutefois, pour toute application alimentaire et pharmaceutique, il faut s'assurer de l'innocuité des composants (polymères et additifs), utilisés dans la fabrication de l'enrobage ou de films comestibles.

D'autre part, étant donné que les hydrolysats de gélatines de poissons sont des sources potentielles de peptides biologiquement actifs, ils pourraient être appliqués dans le secteur de la santé et des nutraceutiques, en tant que « Supplément Nutritionnel » pour le traitement et/ou la prévention de l'hypertension et des maladies cardiovasculaires.

Conflit d'intérêts

Aucun

Références

1. GME. Gelatin Manufacturers of Europe; 2008 <http://www.gelatine.org/en/gelatine/overview/127.htm>. Accessed 18.01.2015.
2. Arnesen JA., Gildberg A. Preparation and characterisation of gelatine from the skin of harp seal (*Phoca groenlandica*). *Bioresour Technol* 2002; 82: 191-4.
3. Norland RE. Fish gelatin. In: Voight MN Botta JK. editors. *Advances in fisheries technology*

- and biotechnology for increased profitability. Lancaster Pa: Technomic Publishing Co; 1990, p. 325-32.
4. Kolodziejska I., Kaczorowski K., Piotrowska B., Sadowska, M. Modification of the properties of gelatin from skins of Baltic cod (*Gadus morhua*) with transglutaminase. *Food Chem* 2004; 86: 203-9.
 5. Muyonga JH., Cole CGB., Duodu KG. Extraction and physico-chemical characterisation of Nile perch (*Lates niloticus*) skin and bone gelatin. *Food Hydrocoll* 2004; 18: 581-92.
 6. Cho SM., Gu YS., Kim SB. Extraction optimization and physical properties of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) skin gelatine compared to mammalian gelatins. *Food Hydrocoll* 2005; 19: 221-9.
 7. Cheow CS., Norizah MS., Kyaw ZY., Howell NK. Preparation and characterisation of gelatins from the skins of sin croaker (*Johnius dussumieri*) and shortfin scad (*Decapterus macrochoma*). *Food Chem* 2007; 101: 386-91.
 8. Liu H., Li D., Guo S. Rheological properties of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) gelatine from fish skins preserved by different methods. *LWT-Food Sci Technol* 2008; 41: 1425-30.
 9. Gómez-Estaca J., Gómez-Guillén MC., Fernández-Martín F., Montero P. Effects of gelatin origin bovine-hide and tuna-skin on the properties of compound gelatin-chitosan films. *Food Hydrocoll* 2011; 25: 1461-9.
 10. Uriarte-Montoya MH., Santacruz-Ortega H., Cinco-Moroyoqui FJ. Rouzaud-Sández O., Plascencia-Jatomea M., Ezquerro-Brauer JM. Giant squid skin gelatin: Chemical composition and biophysical characterization. *Food Res Int* 2011; 44: 3243-9.
 11. Jellouli K., Balti R., Bougatef A., Hmidet N., Barkia A., Nasri M. Chemical composition and characteristics of skin gelatin from grey triggerfish (*Balistes capriscus*). *LWT-Food Sci Technol* 2011; 44: 1965-70.
 12. Ktari N., Jridi M., Nasri R., Lassoued I., Ben Ayed H., Barkia A. *et al.* Characteristics and functional properties of gelatin from zebra blenny (*Salaria basilisca*) skin. *LWT-Food Sci Technol* 2014; 58: 602-8.
 13. Lassoued I., Jridi M., Nasri R., Dammak A., Hajji M., Nasri M. *et al.* Characteristics and functional properties of gelatin from thornback ray skin obtained by pepsin-aided process in comparison with commercial halal bovine gelatin. *Food Hydrocoll* 2014; 41: 309-18.
 14. Jridi M., Nasri R., Lassoued I., Barkia A., Nasri M., Souissi N. Chemical and biophysical properties of gelatins extracted from the skin of Octopus (*Octopus vulgaris*). *LWT-Food Sci Technol* 2015; 60: 881-9.
 15. Jridi., M Nasri R., Lassoued I., Souissi N., Mbarek A., Barkia A. *et al.* Chemical and biophysical properties of gelatins extracted from alkali-pretreated skin of cuttlefish (*Sepia officinalis*) using pepsin. *Food Res Int* 54 2013; 1680-7.
 16. Gómez-Guillén MC., Giménez B., López-Caballero ME. Montero MP. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocoll* 25 2011; 1813-27.
 17. Jongjareonrak A., Benjakul S., Visessanguan W., Prodpran T., Tanaka M. Characterization of edible films from skin gelatin of brownstripe red snapper and bigeye snapper. *Food Hydrocoll* 2006; 20: 492-501.
 18. Gimenez B., Gomez-Estaca J., Alemán A., Gomez-Guillen MC., Montero P. Physico-chemical and film forming properties of giant squid (*Dosidicus gigas*) gelatin. *Food Hydrocoll* 2009; 23: 585-92.
 19. Gimenez B., Gomez-Estaca J., Alemán A., Gomez-Guillen MC., Montero., MP. Improvement of the antioxidant properties of squid skin gelatin films by the addition of hydrolysates from squid gelatin. *Food Hydrocoll* 2009; 23: 1322-7.
 20. Nalinanon S., Benjakul S., Visessanguan W., Kishimura H. Improvement of gelatin extraction from bigeye snapper skin using pepsin-aided process in combination with protease inhibitor. *Food Hydrocoll* 2008; 22: 615-22.
 21. Nikoo M., Benjakul S., Bashari M., Alekhorshied M., Cissouma A.I., Yang N, *et al.* Physicochemical properties of skin gelatin from farmed Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) as influenced by acid pretreatment. *Food Biosci* 2014; 5: 19-26.
 22. Silva RSG., Bandeira SF., Pinto LAA. Characteristics and chemical composition of skins gelatin from cobia (*Rachycentron canadum*). *LWT-*

- Food Sci Technol* 2014; 57: 580-5.
23. Temdee W., Benjakul S. Effect of oxidized kiam wood and cashew bark extracts on gel properties of gelatin from cuttlefish skins. *Food Biosci* 2014; 7: 95-104.
 24. Weng W., Zheng H., Su W. Characterization of edible films based on tilapia (*Tilapia zillii*) scale gelatin with different extraction pH. *Food Hydrocoll* 2014; 41: 19-26.
 25. Wu J., Ge S., Liu H., Wang S., Chen S., Wang J. *et al.* Properties and antimicrobial activity of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin-chitosan films incorporated with oregano essential oil for fish preservation. *Food Packaging Shelf Life* 2014; 23: 1-10
 26. Himaya SWA., Ngo DH., Ryu BM., Kim SK. An active peptide purified from gastrointestinal enzyme hydrolysate of Pacific cod skin gelatin attenuates angiotensin-1 converting enzyme (ACE) activity and cellular oxidative stress. *Food Chem* 2012; 132: 1872-82.
 27. Kasankala LM., Xue Y., Weilong Y., Hong SD., He Q. Optimization of gelatine extraction from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fish skin by response surface methodology. *Bioresour Technol* 2007; 98: 3338-43.
 28. Cho SM., Kwak KS., Park DC., Gu YS., Ji Cl., Jang DH. *et al.* Processing optimization and functional properties of gelatin from shark (*Isurus oxyrinchus*) cartilage. *Food Hydrocoll* 2004; 18: 573-579.
 29. Gómez-Guillén MC., Montero P. Extraction of gelatin from megrim (*Lepidorhombus bosci*) skins with several organic acids. *J Food Sci* 2001; 66: 213-6.
 30. Nagarajan M., Benjakul S., Prodpran T., Songtipya P. Properties of film from splendid squid (*Loligo formosana*) skin gelatin with various extraction temperatures. *Int J Biol Macromol* 2012; 51: 489-96.
 31. Lobo L. Coalescence during emulsification 3. Effect of gelatin on rupture and coalescence. *J Colloid Interface Sci* 2002; 254: 165-74.
 32. Cole CGB. Gelatin. In F.J. Francis (Ed), *Encyclopedia of food science and technology*. 2000; pp: 1183-1188 New York: Wiley.
 33. Shahidi F., Xiao-Qing H., Synowiecki J. Production and characteristics of protein hydrolysates from capelin (*Mallotus villosus*). *Food Chem* 1995; 53: 285-93.
 34. Jridi M., Souissi N., Ayedi MA., Nasri M. Improvement of the physicochemical textural and sensory properties of meat sausage by edible cuttlefish gelatin addition. *Food Biosci* 2015; 12: 67-72.
 35. Jones VJ. The use of gauze: Will it ever change? *Int Wound J* 2006; 3: 79-86.
 36. Wickett R., Visscher MO. Structure and function of the epidermal barrier. *J Infect Control* 2006; 34: 98-110.
 37. Tanaka A., Nagate T., Matsuda H. Acceleration of wound healing by Gelatin film Dressings with Epidermal Growth Factor. *J Vet Med Sci* 2005; 67: 900-13.
 38. Ulubayram K., Nur Cakar A., Korkusuz P., Ertan C., Hasirci N. EGF containing gelatin-based wound dressings. *J Biomaterials* 2001; 22: 1345-56.
 39. Chiou BS., Avena-Bustillos RJ., Bechtel PJ., Imam SH., Glenn G., M., Orts WJ. Effects of drying temperature on barrier and mechanical properties of cold-water fish gelatin films. *J Food Eng* 2009; 95: 327-31.
 40. Jridi M., Souissi N., Mbarek A., Chadeyron G., Kammoun M., Nasri M. Comparative study of physico-mechanical and antioxidant properties of edible gelatin films from the skin of cuttlefish. *Int J Biol Macromol* 2013; 61: 17-25.
 41. Krishna M., Nindo Cl., Min SC. Development of fish gelatin edible films using extrusion and compression molding. *J Food Eng* 2012; 108: 337-44.
 42. Nur Hanani ZA., Roos YH., Kerry JP. Use of beef pork and fish gelatin sources in the manufacture of films and assessment of their composition and mechanical properties. *Food Hydrocoll* 2012; 29: 144-51.
 43. Hoque MS., Benjakul S., Prodpran T. Effects of partial hydrolysis and plasticizer content on the properties of film from cuttlefish (*Sepia pharaonis*) skin gelatin. *Food Hydrocoll* 2011; 25: 82-90.
 44. Rattaya S., Benjakul S., Prodpran T. Properties of fish skin gelatin film incorporated with seaweed extract. *J Food Eng* 2009; 95: 151-7.
 45. Jridi M., Hajji S., Ben Ayed H., Lassoued I., Mbarek A., Kammoun M. *et al.* Physical structural antioxidant and antimicrobial properties of gelatin-chitosan composite edible films. *Int J Biol Macromol* 2014; 67 373-9.

46. Liu Z., Ge X., Lu Y., Dong S., Zhao Y., Zeng M. Effects of chitosan molecular weight and degree of deacetylation on the properties of gelatine-based films. *Food Hydrocoll* 2012; 26: 311-7.
47. Núñez-Flores R., Giménez B., Fernández-Martín F., López-Caballero ME., Montero MP., Gómez-Guillén MC. Role of lignosulphonate in properties of fish gelatin films. *Food Hydrocoll* 2012; 27: 60-71.
48. Ojagh SM., Núñez-Flores R., López-Caballero ME., Montero MP., Gómez-Guillén MC. Lessening of high-pressure-induced changes in Atlantic salmon muscle by the combined use of a fish gelatin-lignin film. *Food Chem* 2011; 125: 595-606.
49. Guerrero P., Beatty E., Kerry JP., de la Caba K. Extrusion of soy protein with gelatin and sugars at low moisture content. *J Food Eng* 2012; 110: 53-9.
50. Pranoto Y., Lee CM., Park HJ. Characterizations of fish gelatin films added with gellan and kappa-carrageenan. *LWT-Food Sci Technol* 2007; 40: 766-74.
51. Limpisophon K., Tanaka M., Osako K. Characterisation of gelatin-fatty acid emulsion films based on blue shark (*Prionace glauca*) skin gelatin. *Food Chem* 2010; 122: 1095-101.
52. Pérez-Mateos M., Montero P., Gómez-Guillén MC. Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. *Food Hydrocoll* 2009; 22: 53-61.
53. Chobert JM., Bertrand-Harb C., Nicolau MG. Solubility and emulsifying properties of caseins and whey proteins modified enzymatically by trypsin. *J Agric Food Chem* 1988; 36: 883-92.
54. Kim S., Mendis E. Bioactive compounds from marine processing by-products-a review. *Food Res Int* 2006; 39: 383-93.
55. Lassoued I., Mora L., Barkia A., Aristory MC., Nasri M., Toldra F. Bioactive peptides identified in thornback ray skin's gelatin hydrolysates by proteases from *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens*. *J Proteomics* 2015; 128: 8-17.
56. Ngo DH., Ryu B., Kim SK. Active peptides from skate (*Okamejei kenojei*) skin gelatin diminish angiotensin-I converting enzyme activity and intracellular free radical-mediated oxidation. *Food Chem* 2014; 143: 246-55.
57. Karnjanapratum S., Benjakul S. Glycyl endopeptidase from papaya latex: Partial purification and use for production of fish gelatin hydrolysate. *Food Chem* 2014; 165: 403-11.
58. Jridi M., Lassoued I., Nasri R., Ayedi MA., Nasri M., Souissi N. Characterization and potential use of cuttlefish skin gelatin hydrolysates prepared by different microbial proteases. *Biomed Res Int* 2014; Article ID 461728 <http://dx.doi.org/10.1155/2014/461728>.
59. Fu Y., Zhao XH. *In vitro* responses of hFOB1.19 cells towards chum salmon (*Oncorhynchus keta*) skin gelatin hydrolysates in cell proliferation cycle progression and apoptosis. *J Funct Food* 2013; 5: 279-88.
60. Zhang Y., Duan X., Zhuan Y. Purification and characterization of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysates of tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin gelatin. *Peptides* 2012; 38: 13-21.
61. Lin L., Li BF. Radical scavenging properties of protein hydrolysates from Jumbo flying squid (*Dosidicus eschrichtii* Steenstrup) skin gelatin. *J Sci Food Agric* 2006; 86: 2290-5.
62. Alemán A., Giménez B., Montero P., Gómez-Guillén MC. Antioxidant activity of several marine skin gelatins. *LWT-Food Sci Technol* 2011; 44: 407-13.
63. Phanturat P., Benjakul S., Visessanguan W., Roytrakul S. Use of pyloric caeca extract from bigeye snapper (*Priacanthus macracanthus*) for the production of gelatin hydrolysate with antioxidative activity. *LWT-Food Sci Technol* 2010; 43: 86-97.
64. Kim SK., Kim YT., Byun HG., Nam KS., Joo DS., Shahid F. Isolation and characterization of antioxidative peptides from gelatin hydrolysate of Alaska pollack skin. *J Agric Food Chem* 2001; 49: 1984-9.
65. Vo TS., Ngo DH., Kim JA., Ryu B., Kim SK. An antihypertensive peptide from tilapia gelatin diminishes free radical formation in murine microglial cells. *J Agric Food Chem* 2011; 59: 12193-7.