



LA STABILITE PHYSICO-CHIMIQUE D'ESTURGEON DU DANUBE (*ACIPENSER STELLATUS*) A CONGELATION♦

Aurelia Ionescu^{1*}, Margareta Zara¹, Iuliana Aprodu¹,
Aida Vasile¹, Elpida Paltenea²

¹Université "Dunărea de Jos" Galați, Faculté de Science et Ingénierie
d'Aliments, Galați, Roumanie

²Institut de Recherche et Développement pour Ecologie Aquatique,
Pêcherie et Aquaculture, Galați, Roumanie

*Correspondance : aureliansc@yahoo.com

Abstract: The sturgeon (*Acipenser stellatus*) is the third important species of sturgeons for the production of caviar and firm, tasty white, meat fresh or refrigerated. Freezing, as fish conservation technology, involves biochemical modifications that dictate the fish quality in terms of texture, nutritional value and security.

Keywords: *sturgeon meat, biochemical modifications, nutritional value, security, freezing*

INTRODUCTION

Les poissons sont des vertébrés qui vivent dans le milieu aquatique dans un mouvement continu, ils sont extrêmement différents des vertébrés terrestres par les caractéristiques biologiques et de structure, par leur métabolisme général et par l'activité de la musculature somatique. Après la mort du poisson, les processus biochimiques de la

♦ Paper presented at **COFrRoCA 2006: Quatrième Colloque Franco-Roumain de Chimie Appliquée**, 28 June – 2 July, Clermont-Ferrand, France

viande se développent plus intensément qu'aux animaux terrestres, c'est parce que l'activité optimale des enzymes est proche de la température normale de l'animal vivant, condition qui est gardée aussi après la mort du poisson. La rigidité musculaire s'installe plus rapidement et à des valeurs de pH d'environ 6,0, et la viande de poisson offre de meilleures conditions pour le développement des processus otolithiques et le développement de la flore microbienne d'altération.

Le problème principal qui concerne la valorisation de la viande des animaux aquatiques consiste dans le maintien de la haute qualité de celle-ci, ayant en vue sa faible conservabilité. La susceptibilité de la viande de poisson à l'altération est liée aux propriétés spécifiques au poisson: la structure fine de la fibre musculaire insuffisamment couverte par le tissu conjonctif; la teneur riche en substances nutritives solubles, en particulier des composés non protéiques, présents en dehors de la fibre musculaire et accessibles aux microorganismes; la stabilité réduite des protéines myofibrillaires, qui se dénaturent plus rapidement, sont plus facilement dégradées par les enzymes protéolytiques et perdent plus rapidement l'activité enzymatique; la teneur élevée d'eau; le pH neutre ou généralement, plus grand de 6,0, convenable au développement de la plupart des microorganismes; la présence dans la viande du poisson, tant des muscles blancs que des muscles rouges, avec un plus grand contenu de myoglobine et des activités enzymatiques plus intenses (activité déméthylasique, succinyldehydrogénasique et leucineaminasique); la grande contamination de la peau, des branchies et du tube digestif d'où le tissu musculaire est contaminé aussi qui est à peu près stérile à la prise du poisson [1, 2]. Pour conserver la viande de poisson on peut appliquer de diverses méthodes, basées sur les principes de l'anabiose et de l'abiose, d'où la congélation (cryoanabiose) est la méthode la plus utilisée dans ce sens.

Les esturgeons sont parmi les plus anciennes espèces de poissons anadromes du monde. Ils sont pêchés pour leur délicieuse viande et pour le caviar. *Acipenser Stellatus* (esturgeon étoilé) est la troisième espèce d'esturgeons pour la production de caviar et de viande blanche, ferme et savoureuse, utilisée spécialement en état de réfrigération [3].

La congélation, comme méthode de conservation du poisson, implique des modifications physiques et biochimiques, qui conditionnent la qualité du poisson en termes de texture, valeur nutritive et sécurité, très bien étudiées au cas des espèces communes de poissons, mais peu étudiées et précisées dans la littérature de spécialité, au cas des esturgeons, qui vivent dans des milieux naturels.

L'objectif de cette étude consiste dans la détermination de la composition nutritionnelle de la viande d'esturgeon étoilé (*Acipenser Stellatus*) pêché dans le Danube et dans l'évaluation de l'effet de la congélation et du dépôt en régime de congélation sur la déshydratation de la viande, la solubilité et l'extractibilité des protéines d'esturgeon étoilé, des processus protéolytiques et sur l'oxydation des lipides.

MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Les exemplaires d'esturgeon étoilé, pêchés du Danube, avec la masse entre 3,4 – 4,5 kg ont été, immédiatement après la pêche, décapités, éviscérés et filetés. Des filets, on a éloigné la peau avec les boucliers osseux, la couche de graisse sous-épithéliale, les muscles rouges et les cartilages. Les filets ont été taillés en morceaux, groupés ainsi qu'on assure une distribution uniforme de point de vue compositionnel des muscles

squelettiques. Les morceaux de filets ont été préemballés individuellement dans des sacs en polyéthylène, lentement congelés et déposés pour des périodes différentes à -12 °C. La période totale de dépôt, à congélation, a été de 12 mois. Les échantillons ont été récoltés à intervalles de 0, 1, 3, 6, 8, 10 et 12 mois. Les morceaux de filets congelés ont été décongelés durant la nuit à 4 °C, taillés en cubes au côté de 2 cm et broyés au mixeur Braun. La pâte homogène obtenue a été placée dans des récipients hermétiquement fermés et gardée à 4 °C, jusqu'à la réalisation des analyses.

Les contenus d'humidité, protéines, graisse et cendre ont été déterminés conformément AOAC 1990 [4]; la solubilité des protéines après la méthode colorimétrique Lowry modifiée Miller; azote non protéique et ammoniacal, les aminoacides libres (la méthode colorimétrique), l'indice TBA, des bases azotates volatiles totales et triméthylamine, conformément aux méthodes indiquées par [15]; des acides gras – gaz chromatographie; le pH potentiométrique.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

La composition approximative de la viande d'esturgeon étoilé

Dans le tableau 1 sont présentées les données concernant la composition approximative de la viande d'esturgeon étoilé et la variation de celle-ci pendant le dépôt à -12 °C.

*Tableau 1. La modification de la composition globale et des fractions avec azote**

Durée de dépôt à -12 °C (mois)	Eau, g %	Protéines, g %	Graisse, g %	Cendre, g %	Azote non protéique, g %	Amino acides, N ₂ %	Azote ammoniacal, mg %
Initiale	74,34±0,3	18,98±0,26	5,89±0,31	0,97±0,03	0,247±0,01	0,089±0,026	17,0±0,24
1	74,12±0,78	19,05±0,44	5,90±0,34	0,97±0,01	0,268±0,033	0,097±0,034	18,2±0,12
3	73,98±0,44	19,15±0,27	5,92±0,05	0,97±0,01	0,288±0,097	0,103±0,014	19,5±0,93
6	73,69±0,78	19,33±0,44	5,98±0,34	0,98±0,02	0,307±0,031	0,118±0,077	21,0±1,87
8	73,28±0,38	19,61±0,24	6,03±0,15	1,00±0,02	0,354±0,20	0,121±0,07	24,3±0,42
10	72,89±0,63	19,82±0,25	6,11±0,28	1,00±0,01	0,369±0,21	0,130±0,074	26,9±0,83
12	72,33±0,47	20,04±0,20	6,23±0,29	1,03±0,02	0,381±0,015	0,139±0,032	28,0±0,16

* Les milieux calculés des données pour les échantillons provenus de 5 poissons analysés individuellement en duplicates et la déviation standard

La viande d'esturgeon étoilé de Danube a eu un contenu élevé de protéines (18,98 ± 0,26 %) et un contenu moyen de graisse (5,89 ± 0,31 %). La somme (graisse + eau) à la viande d'esturgeon étoilé a été située au niveau de 80,23 %, valeur similaire à celle rapportée dans la littérature, de 80 % pour la majorité des poissons communs [6]. Les résultats, obtenus par nous, montrent une décroissance continue du contenu d'eau pendant le dépôt à congélation, de 74,34 ± 0,3 % jusqu'à 72,33 ± 0,47 %, après 12 mois

de conservation à -12 °C. Les pertes d'eau (2,1 %) ont été déterminées par l'évaporation de l'eau, par la sublimation de la glace de la surface des morceaux de poisson et par les pertes de jus à décongélation. Les modifications par déshydratation aux filets d'esturgeon étoilé, emballées dans des sacs en polyéthylène perméables à vapeurs d'eau, en présence de l'air que nous avons observé, ont été limitées. On n'a pas constaté des zones très déshydratées, avec la surface séchée, opaque ou spongieuse, spécifiques aux brûlures à froid, décrites pour d'autres espèces par Johnston [1]. On remarque également des faibles réductions, pendant le dépôt à congélation, des contenus en protéines (1,14/100 g substance séchée) et en graisse (0,53/100 g substance séchée). La réduction du contenu en protéines totales est due aux pertes à la décongélation du poisson de quelques substances avec azote, solubles dans le jus de la viande et celles de graisse sont dues à leur hydrolyse et à l'oxydation des acides gras non saturés formés. Par la congélation, le dépôt à congélation et la décongélation des filets d'esturgeon étoilé de Danube on a réduit un peu la valeur nutritive de la viande de poisson, à cause des pertes de protéines solubles, des substances extractibles et des sels minéraux dans le jus, exprimé à décongélation et de la dégradation des lipides.

Tableau 2. La composition en aminoacides des filets d'esturgeon étoilé de Danube

No.	Aminoacide	g % viande d'esturgeon étoilé	No.	Aminoacide	g % viande d'esturgeon étoilé
1	Valine	0,74	10	Acide aspartique	2,38
2	Isoleucine	0,57	11	Arginine	0,75
3	Leucine	1,42	12	Histidine	0,86
4	Lysine	1,39	13	Glycine	0,98
5	Méthionine	0,49	14	Acide glutamique	3,27
6	Thréonine	0,87	15	Proline	0,50
7	Tryptophane	0,10	16	Serine	0,92
8	Fenil alanine	0,67	17	Tyrosine	0,68
9	Alanine	0,82	18	Cystéine	0,18
Total aminoacides essentiels					7,07
Total aminoacides non essentiels					10,52
Total aminoacides					17,59
Aminoacides essentiels / Aminoacides non essentiels					0,67

La viande d'esturgeon étoilé de Danube constitue une source importante d'acides aminés essentiels, le profil des acides aminés, indiqué dans le tableau 2, étant similaire à d'autres espèces de poisson. La composition en acides aminés des protéines d'esturgeon étoilé de Danube, comme indicateur nutritionnel fondamental, en particulier en ce qui concerne l'assurance du nécessaires d'acides aminés essentiels pour l'alimentation de l'homme, n'a pas été modifiée significativement pendant la congélation à -12 °C.

La stabilité des protéines de la viande d'esturgeon étoilé

Les protéines du muscle d'esturgeon étoilé de Danube ont souffert des modifications physico-chimiques et biochimiques, tant pendant la congélation, que pendant le dépôt en régime de congélation à -12 °C, dépendantes de température et de la durée de dépôt. La perte de qualité des protéines a été reflétée dans la réduction avec 8 % de l'extractibilité des protéines sarcoplasmiques et avec 43 % des protéines myofibrillaires, ainsi que dans la modification de certaines propriétés fonctionnelles des

protéines structurales. La capacité de rétention de l'eau après 12 mois de dépôt à -12 °C a baissé avec 22 %, la capacité d'émulsionner du concentré de protéines myofibrillaires d'esturgeon a été réduite avec 25 %, et la viscosité des gels à base de protéines myofibrillaires d'esturgeon étoilé (12 mg/mL) a été plus réduite après le dépôt du poisson en état congelé. La décroissance de l'extractibilité des protéines sarcoplasmiques est expliquée par la résistance accrue du muscle à homogénéisation, et la baisse de l'extractibilité et de la solubilité des protéines myofibrillaires est due à la formation des agrégats protéiques à masse moléculaire grande. Nous motivons la baisse de la solubilité des protéines myofibrillaires d'esturgeon étoilé de Danube par l'interaction des protéines myofibrillaires avec certains aminoacides libres, avec les acides gras libérés des lipides, avec les lipides oxydés ou les composés d'oxydation des lipides. Le procédé de congélation que nous avons adopté est lent et nous apprécions que les protéines structurales de poisson aient été pour longtemps sous l'action dénaturante des solutions concentrées de polyélectrolytes, en particulier dans le domaine critique de température -1 – 15 °C. Almudena et al. [7] ont constaté la modification différenciée du profil électrophorétique des protéines myofibrillaires des muscles de « blue whiting » (*Micromesistius poutassou* R.), de « horse mackerel » (*Trachurus trachurus* L.) et de maquereau (*Scomber scombrus* L.), pendant le dépôt du poisson à -18 °C, durant 1 an. Fernández-Reiriz et al. [8] motivent la perte de la capacité de liage de l'eau et la réduction de la solubilité des protéines de la viande hachée de *Raja clavata* par les réactions entre certains groupements amino libres et malondialdéhyde, formée par l'oxydation des lipides pendant le dépôt de la viande.

Dans la viande d'esturgeon de Danube, après le dépôt en régime de congélation pendant 12 mois, on n'a pas constaté la présence de la triméthylamine, ce qui nous permet de supposer le manque d'oxyde de triméthylamine du tissu musculaire de l'espèce, l'oxyde de triméthylamine étant une source d'aldéhyde formique pour certaines espèces de poissons, avec activité déméthylasique et stabilité réduite à congélation. Les protéines sarcoplasmiques sont plus stables à dénaturation pendant le dépôt en régime de congélation, par rapport aux protéines myofibrillaires [9]. Lou et al. [10] ont constaté que la solubilité des protéines du poisson spatule (*Polyodon spathula*) a baissé avec 20 % en 5 mois de dépôt en régime de congélation, la myosine étant la protéine myofibrillaire avec la stabilité la plus réduite à conservation.

Généralement, les propriétés fonctionnelles des protéines sont conditionnées par leur solubilité qui dépend du pH du milieu. À point isoélectrique qui se trouve dans le domaine de pH (4,0 – 6,0), la solubilité des protéines myofibrillaires d'esturgeon étoilé a été minimale (figure 1), se situant sous 10 %, étant un peu plus grande aux échantillons, immédiatement après la congélation et à 1 mois de dépôt à -12 °C. Au pH isoélectrique, les molécules protéiques ne présentent pas de charge électrique, il n'y a pas des forces électrostatiques de répulsion entre les chaînes polypeptidiques, c'est pourquoi elles s'agglomèrent et précipitent. Les interactions hydrophobes entre protéines croissent également au point isoélectrique des protéines, et la flexibilité des chaînes protéiques est modifiée. Le profil des courbes de solubilité montre une grande dépendance de celle-ci du pH du milieu, la solubilité étant maximale, pour tous les échantillons, à pH très acide (pH = 2) et alcalin (pH = 12).

La température de -12 °C n'a pas assuré l'inactivation complète des enzymes protéolytiques propres à la viande de poisson ou de celles sécrétées par la microflore de

contamination naturelle des filets d'esturgeon étoilé de Danube qui ont continué d'agir sur les substrats spécifiques, mais à vitesses de réaction très diminuées.

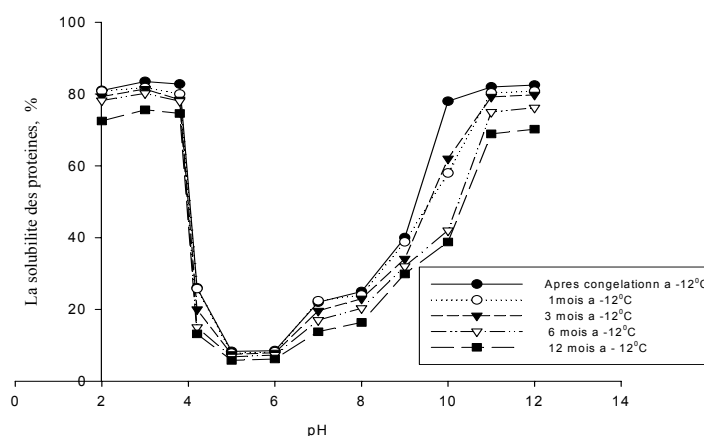


Figure 1. La modification de la solubilité des protéines du muscle d'esturgeon étoilé en fonction de la valeur du pH et de la durée de dépôt

L'accumulation d'azote non protéique, en particulier dans les acides aminés libres, pendant le dépôt en régime de congélation des filets d'esturgeon étoilé de Danube peut être due à l'activité des protéases du tissu musculaire (cathepsine et calpaïne), une partie de ces enzymes manifestant une activité dipeptidasique, aminopeptidasique ou carboxypeptidasique, avec libération de composés avec azote solubles en acide trichloracétique, en particulier après 6 mois de dépôt à -12 °C (figure 2).

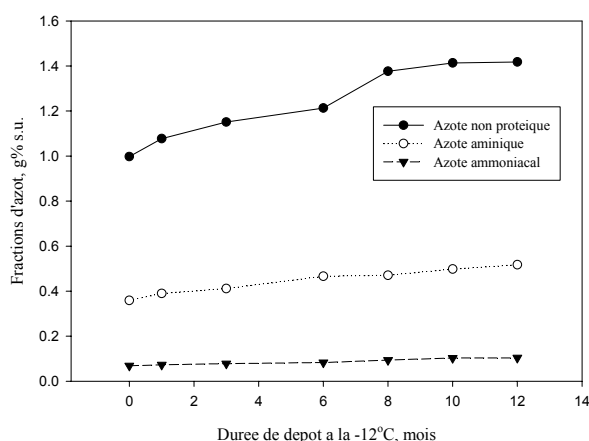


Figure 2. La modification des fractions d'azote pendant le dépôt de la viande d'esturgeon étoilé de Danube à -12 °C

Parmi les enzymes lysosomales, les cathepsines B, D, H, L, les enzymes similaires à L et X, séparés des muscles des poissons et des animaux marins, purifiées et caractérisées, peuvent attaquer les protéines contractiles en divers points stratégiques. C'est ainsi que la cathepsine B peut rapidement dégrader la chaîne lourde de la myosine, alors que la cathepsine L dégrade rapidement la troponine T et I et la protéine C et la lent myosine, l'actine, la tropomyosine, la nébuline, la titine et α -actinine. Les cathepsines B et L, avec un pH optimal très proche du domaine (5,5 – 6,5), trouvé dans

la plus part des muscles squelettiques, peuvent agir sur les protéines myofibrillaires seulement après leur libération des lysosomes par la baisse du pH pendant la glycolyse post-mortem et sous l'action mécanique des cristaux de glace sur les murs des organites cellulaires concernées.

Comme on peut observer de la figure 2, l'accumulation d'acides aminés libres pendant le dépôt en régime de congélation a été un processus continu, mais limité comme intensité. Après 12 mois de dépôt en état congelé, le niveau d'acides aminés libres s'est accru avec 0,159 % substance séchée, ce qui représente 1,21 % de l'azote total. L'analyse des acides aminés libres a indiqué une croissance des niveaux de certains acides aminés de la fraction concernée, en particulier l'acide aspartique, l'acide glutamique, la proline, l'alanine, la lysine, des croissances différenciées en fonction de la durée de conservation.

L'activité réduite des enzymes protéolytiques tissulaires s'explique par le pH élevé de la viande de poisson qui dépasse 6,40, maintenu sur toute la période de dépôt, les principales cathepsines du poisson étant endopeptidases actives à pH acide. Les calpaïnes qui sont endopeptidases neutres ne catalysent pas la hydrolyse des protéines myofibrillaires principales (α -actine, α -actinine et la chaîne lourde de la myosine), mais elles initient la digestion de certaines protéines myofibrillaires individuelles comme la desmine, la filamine, la protéine C, la tropomyosine, la troponine T et I, la titiane, la nébuline, la vimentine et la vinculine. La plus grande partie est constituée par des protéines qui stabilisent les structures filamenteuses des myofibrilles [1, 11, 12].

Les modifications rhéologiques (le mouillage léger de la texture des filets d'esturgeon étoilé) que nous avons observé pendant le dépôt de l'esturgeon étoilé de Danube à des températures de congélation (-12 °C) sont beaucoup plus évidentes après 8 mois de dépôt et nous considérons qu'elles représentent le résultat de l'action synergétiques et séquentielles des calpaïnes, des cathepsines et éventuellement des matrix metalloproteinases de la viande de poisson. Le tissu conjonctif de la structure des filets a présenté une résistance mécanique élevée, il a très bien supporté la tension exercée par les cristaux de glace relativement grandes et irréguliers, formés au cas de la congélation lente. Pour les filets d'esturgeon étoilé, après 12 mois de dépôt à -12 °C, on n'a pas saisi le phénomène de « gaping », rapporté pour des espèces différentes de poissons [13].

Le tissu musculaire d'esturgeon étoilé de Danube a eu une activité de désamination oxydative réduite, fait concrétisé dans les petites accumulations d'ammoniaque pendant le dépôt du poisson en régime de congélation. La courbe de variation de l'ammoniaque est presque linéaire avec une pente par rapport à l'abscisse extrêmement réduite, alors que les expressions sont faites à 100 g substance séchée (figure 2). De même, l'activité de la décarboxylase a été relativement limitée, l'azote des bases totales volatiles étant représenté après 12 mois de dépôt à -12 °C, en particulier par l'azote ammoniacal (82 %).

La stabilité à dépôt en régime de congélation des lipides

Le dépôt des filets d'esturgeon étoilé de Danube a été associé à des processus d'oxydation chimique et/ou enzymatique des lipides, le conditionnement du poisson étant fait en présence de l'air, en sacs de polyéthylène perméables pour oxygène. La susceptibilité des lipides d'esturgeon étoilé à oxydation est liée du contenu de graisse et de la compositions des lipides en acides graisses mono- et poly-non saturés (tableau 3). La dégradation des lipides extraits de la viande d'esturgeon étoilé de Danube s'est

produite à cause du rancissement hydrolytiques et oxydatives déterminé par des lipases, lipoxygénases et oxygène. Les lipases délivrent les acides gras des lipides, et les acides gras libres, en particulier les acides poly-non saturés sont ultérieurement oxydés à composés à masse moléculaire réduite, responsables pour l'arôme et l'odeur désagréables de rance. Sikorski et al. [14] ont rapporté qu'environ 20 % des lipides du poisson peuvent être hydrolysés pendant la conservation à glace. Conformément à Nishimoto, et al. [22], nous avons considéré le nombre TBA comme le meilleur indicateur pour le mesurage du degré avancé d'oxydation des lipides du poisson.

Tableau 3. Le contenu d'acides gras de la constitution de la graisse d'esturgeon de ferme et de Danube

Acide gras	Esturgeon étoilé de ferme (environ 2 ans)	Esturgeon étoilé de Danube
C14:0, %	7,77	6,73
C16:0, %	27,39	25,59
C18:0, %	3,33	3,62
Total acides gras saturés, %	38,49	35,94
C14:1, %	0,65	0,65
C16:1, %	8,67	8,41
C18:1, %	37,57	38,14
Total acides gras mono- non saturés, %	46,89	47,20
C18:2 ω 6, %	7,33	8,63
C18:3 ω 3, %	1,42	1,12
C20:5 ω 3, %	1,15	1,30
C22:6 ω 3, %	4,72	5,81
Total acides gras poly- non saturés, %	14,62	16,86
ω 3, %	7,29	8,23
ω 6, %	7,33	8,63
ω 3/ ω 6	0,99	0,95
Acides gras saturés / Acides gras non saturés	0,63	0,56
EPA + DHA, %	5,87	7,11
Total acides gras, %	100	100

La courbe de variation de l'indice TBA indique une accumulation continue de substances qui réagissent avec l'acide 2-tiobarbiturique (figure 3).

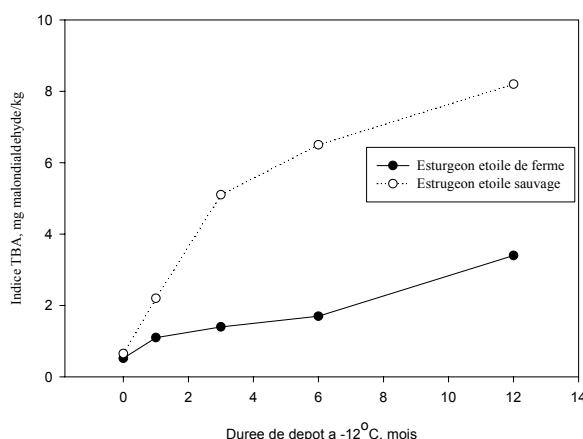


Figure 3. La modification de la valeur de l'indice TBA au muscle d'esturgeon étoilé déposé à -12 °C

Conformément aux données que nous avons obtenues, l'oxydation des lipides de la viande d'esturgeon étoilé a commencé se développer immédiatement après congélation et a progressé pendant le dépôt en régime de congélation. On suppose qu'à côté du haut degré de non saturation des acides gras de constitution, le processus d'oxydation des lipides est dû également à la quantité initiale d'antioxydants naturels de la viande d'esturgeon étoilé et à l'épuisement rapide de ceux-ci, à l'inactivation des enzymes antioxydants (glutathion peroxydase, catalase et superoxyde dismutase), à la présence des prooxydants dans les muscles (les ions de fer de la myoglobine et hémoglobine) et aux conditions de dépôt (lumière, temps, température, la présence et la qualité de l'emballage). Les enzymes antioxydants se trouvent aux poissons d'eau douce et salée en quantités différentes en fonction d'organe et de tissu [15], du comportement nutritionnel [16], des facteurs de milieu et d'autres conditions écologiques [17]. Decker et Hultin [18] ont observé que, entre la concentration des ions de fer et le nombre des composés qui réagissent avec l'acide 2-tiobarbiturique, il y a une relation directement proportionnelle. Un rôle important dans l'oxydation des lipides de poisson revient aux lipoxygénases qui manifestent stéréospécificité élevée, spécificité de substrat et spécificité de position [19, 20]. La lipoxygénase du maquereau manifeste une spécificité plus élevée pour les acides : linoléique (18:2), docosahexaénoïque (DHA, 22:6) et arachidonique (20:4). Des activités plus réduites ont été constatées envers triacilglyceroli, de l'acide linoléique (18:3) et l'acide docosapentaénoïque (DPA, 20:5) [21]. Parallèlement avec la croissance du nombre TBA, nous avons constaté une réduction du contenu d'acides gras non saturés avec 4,8 %, après le dépôt des filets d'esturgeon étoilé pendant 12 mois à -12 °C. On a exposé aux modifications oxydatives en particulier les acides gras : eicosahexaénoïque (EPA), DHA și linoléique.

UA niveau biologique et nutritionnel, l'oxydation des lipides détermine la destruction des membranes cellulaires, des acides gras poly-non saturés (EPA, DHA), des hormones et des vitamines liposolubles qui sont des composantes cellulaires normales à fonctions précises et la baisse de la qualité nutritionnelle et de la sûreté de l'aliment.

CONCLUSIONS

- La dégradation hydrolytique et oxydative des lipides et l'aggrégation des protéines constituent les principaux facteurs impliqués dans la perte de qualité au cas de la viande d'esturgeon étoilé de Danube, déposée en régime de congélation à -12 °C, en présence de l'air;
- La durée maximale de dépôt des filets d'esturgeon étoilé de Danube à -12 °C, établie expérimentalement est de 6 mois, après cette période on enregistre des modifications de détérioration mesurables analytiquement et perceptibles par des tests sensorielles.

REFERENCES

1. Johnston, W.A., Nicholson, F.J., Roger, A., Stroud, G.D.: Freezing and refrigerated storage in fisheries, *FAO Fisheries Technical Paper*, 340, Rome, *FAO*, **1994**, 143.
2. Ionescu, A.: *Tehnici și procedee de conservare a peștelui*, Hyapatya, Galați, **1995**.

3. Bauchot, M.L.: *Poissons osseux*, pp. 891-1421. In W. Fischer, M.L. Bauchot, M. Schneider (eds.) *Fiches FAO d'identification pour les besoins de la pêche*. (rev. 1), Méditerranée et mer Noire, Zone de pêche 37, Vol. II, Commission des Communautés Européennes and FAO, Rome, **1987**.
4. AOAC.: Official Methods of Analysis. 14th. ed. *Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 1990*.
5. Ionescu, A.: *Tehnologie și utilaj pentru prelucrarea peștelui*, Ed. Universității Dunărea de Jos din Galați, **1992**.
6. Badiani, A., Anfossi, P.I., Fiorentini, Gatta, P.P., Manfredini, M., Nann, N., Stipa, S., Tolomelli, B.: Nutritional Composition of Cultured Sturgeon (*Acipenser spp.*), *Journal of Food Composition and Analysis*, **1996**, 9, pp. 171–190.
7. Huidobro, A., Tejada, M.: Alteration of the electrophoretic pattern of myofibrillar proteins in fish mince during frozen storage, *European Food Research and Technology*, **1995**, 200(4), pp. 247 – 251.
8. Fernández-Reiriz, M.J., Pastoriza, J., Sampedro, L., Herrera, G., Juan, J.: Changes in lipids of whole and minced rayfish (*Raja clavata*) muscle during frozen storage, *European Food Research and Technology*, **1995**, 200(6), pp. 420 – 424.
9. Mackie, I.M.: The effects of freezing on flesh proteins, *Food Rev. Int.* **1993**, 9(4) pp. 575-610.
10. Lou, X., Wang, C., Xiong, Y. L., Wang, B., Liu, G.: Physicochemical Stability of Paddlefish (*Polyodon spathula*) Meat under Refrigerated and Frozen Storage, *Journal of Aquatic Food Product Technology*, **2000**, 9(4), pp.27 – 39.
11. Hultin, H.O.: Postmortem biochemistry of meat and fish, *J. Chem. Educ.*, **1984**, 61(4), pp. 289-298.
12. Asghar, A., Samejima, K., Zasui, T.: Functionality of muscle proteins in gelation mechanisms of structured meat products. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **1985**, 22(1), pp. 27-105.
13. Lavéty, J., Afolabi, O.A., Love, R.M.: The connective tissue fish. IX. Gaping in farmed species, *Int. J. Food Sci. Techn.*, **1988**, 23, pp. 23-40.
14. Sikorski, Z.E., Kolakowska, A.: Freezing of marine food. In: *Seafood: Resources, nutritional composition, and preservation*, Z.E. Sikorski (Ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, **1990**.
15. Wdzieczak, J., Zalesna, G., Wujec, E., Peres, G.: Comparative studies on superoxide dismutase, catalase and peroxidase levels in erythrocytes and livers of different freshwater and marine fish species, *Comp. Biochem. Physiol. B*, **1982**, 73, 361 -365.
16. Radi, A.A.R., Matkovics, B.: Effects of metal ions on the antioxidant enzymes activities, proteins contents and lipid peroxidation of carp tissues, *Comp. Biochem. Physiol. C*, **1988**, 90, pp. 69 -72.
17. Winston, G.W., Di Giulio, R.T.: Prooxidant and antioxidant mechanisms in aquatic organisms, *Aquat. Toxicol.*, **1991**, 19, pp. 137 -161.
18. Decker, E.A., Hultin, H.O.: Factor influencing the catalysis of lipid oxidation by the soluble fraction of mackerel muscle, *J. Food Sci.*, **1990**, 55, 947
19. Borresen, T.: Chemical composition. In: Huss. H.H. (ed.) *Quality and quality changes in fresh fish. FAO Fish Tech. Pap. No 349. Rome. FAO*, **1995**, pp. 20-34.
20. Ionescu, A., Zara, M., Vasile, A., Aprodu, I., Paltenea, E.: The study of the post-mortem modifications of the great sturgeon. *Papers of International Symposium, Euro-Aliment*. Ed. Academica, Galați, **2005**, pp. 46-52.
21. Laird, W.M., Mackie, I.M., Hattula, T.: Studies of the changes in the proteins of cod-frame minces during frozen storage -15°C. In: Connell, J.J. (ed.). *Advances in Fish Sciences and Technology*, England, **1980**, pp. 428-434.
22. Nishimoto, J., Suwetja, I.K., Miki, H.: Estimation of keeping freshness period and practical storage life of mackerel muscle during storage at low temperatures, *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, **1985**, 34(1), pp. 89-96.