

UTJECAJ SMRZAVANJA NA IMPEDANCIJU KALIFORNIJSKE PASTRVE (*Oncorhynchus mykiss*)

S. Vidaček, T. Janči, N. Marušić, T. Petrak, T. Vnučec, H. Medić¹

Sažetak

Cilj rada bio je ispitati električke karakteristike fileta kalifornijske pastrve (*Oncorhynchus mykiss*) podvrgnute različitim uvjetima smrzavanja. Ispitivanje je obuhvaćalo mjerenje rezistencije (R) i reaktancije (X) u rasponu 1 Hz do 1MHz na 100 uzoraka te analizu izmjerenih vrijednosti pomoću metode glavnih komponenta. Rezultati metode glavnih komponenta pokazali su da se rezultati izmjera rezistencije, odnosno reaktancije mogu ekstrahirati u 3 glavne komponente. Rezultati diskriminacijske analize pokazali su da je, korištenjem glavnih komponenta i fizikalno-kemijskih izmjera, moguće pravilno razlikovati 77% uzoraka. Utvrdilo se da je reaktancija pri srednjim i visokim frekvencijama osjetljiva na promjene u strukturi fileta pastrve koje nastaju uslijed različitih uvjeta smrzavanja.

Ključne riječi: impedancija, reaktancija, smrzavanje, pastrva

UVOD

Smrzavanje kvalitetne sirovine pravilnim načinom smrzavanja te skladištenjem na niskoj temperaturi kratko vrijeme, smatra se najboljim načinom produljenja trajnosti namirnica s obzirom na nutritivne i senzorske osobine (F e n n e m a, 1977). Određene promjene na kvaliteti smrznutih namirnica ipak su neizbježne kad se uzme u obzir da smrzavanjem pri atmosferskom tlaku dolazi do fazne promjene voda - led (tip I), pri čemu se mijenjaju termofizička svojstva namirnica (gustoća vode iznosi 1000 kg/m³, a leda 917 kg/m³), što utječe na povećanje volumena i time na destrukciju strukture tkiva te da u namirnici uvijek zaostane dio nesmrznute vode, koja je odgovorna za odvijanje reakcija i pri vrlo niskim temperaturama. Kvaliteta smrznute ribe ovisi o velikom broju faktora. Oni se mogu podijeliti na osobine sirovine (vrsta ribe, vrijeme izlova, rukovanje ribom, pH, hlađenje prije smrzavanja, veličina ribe, spol) te karakteristike procesa smrzavanja (brzina i

¹ Dr. sc. Sanja Vidaček, docent, e-mail: svidacek@pbf.hr; Tibor Janči, dipl. ing., e-mail: tjanci@pbf.hr; Nives Marušić, dipl. ing., e-mail: nmarusic@pbf.hr; dr. sc. Tomislav Petrak, redoviti profesor u trajnom zvanju, e-mail: tpetrak@pbf.hr; Tatjana Vnučec, dipl. ing., dr. sc. Helga Medić, izvanredni profesor, email: hmedic@pbf.hr; Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb.

način smrzavanja, uvjeti skladištenja, brzina i način odmrzavanja, glaziranje i pakiranje, broj ciklusa smrzavanje/odmrzavanje) (H e d g e s, 2001; R e h b e n, 2002). Osnovne promjene na kvaliteti tijekom smrzavanja, odnosno skladištenja u smrznutom stanju su denaturacija miofibrilarnih proteina te oksidacija masti. Masnije vrste riba podložne su prvenstveno oksidaciji masti, a one s niskim udjelom masti prvenstveno promjenama na proteinima što utječe negativno na teksturu proizvoda i funkcionalna svojstva takve sirovine za daljnju preradu. Smatra se da je prilikom smrzavanja najotpornija polumasna riba (T e j a d a, 2001).

Iako postoji velik broj biokemijskih i fizikalnih metoda koje se mogu koristiti za određivanje pojedinih parametara kvalitete smrznute ribe, još uvijek ne postoji zajednička, jednostavna i pouzdana metoda. Metode utvrđivanja promjena kvalitete ribe uslijed smrzavanja mogu se, prema R e h b e n u (2002), okvirno podijeliti na biokemijske metode (određivanje promjena u topivosti proteina, promjena aktivnosti određenih enzima, promjena koncentracije određenih metabolita) i fizikalne metode (sposobnost vezanja vode, analiza teksture), no niti jedna metoda nije prihvatljiva na nivou svih faktora koji utječu na kvalitetu.

U novije vrijeme se za procjenu kvalitete smrznute ribe ispituje veliki broj multivarijantnih metoda. Od multivarijantnih metoda za utvrđivanje kakvoće ribljeg mesa (svježeg i/ili odmrznutog) upotrebljavaju se NIR-spektroskopija (B o k n a e s i sur., 2002), fluorescentna spektroskopija (K a r o u i sur., 2006) te mjerenje dielektričkih svojstava u mikrovalnom području (K e n t i sur., 2004; K e n t i sur., 2005). Dobiveni rezultati upućuju na mogućnost primjene dielektričkih svojstava u kontroli kvalitete odmrznutog ribljeg mišićja jer rezultati dobro koreliraju s različitim uvjetima smrzavanja i skladištenja. Zajedničko svim navedenim metodama je što se kao rezultat dobiva veliki broj zavisnih varijabli, zbog čega je moguće utvrditi i često korigirati interferenciju koja predstavlja problem kod takvih metoda čiji je rezultat jedna varijabla. Zahtjevniji dio tih metoda je nužnost upotrebe matematičkih modela za dobivanje krajnjeg rezultata, odnosno određenog atributa kvalitete. Metodologija analize podataka obuhvaća transformaciju spektra pomoću faktorske analize. Linearnom transformacijom skupa koreliranih varijabli dobiva se novi skup nekoreliranih, ortogonalnih i standardiziranih varijabli – faktora. Vrijednosti faktora se dalje primjenjuju kao varijable u diskriminacijskoj analizi ili u jednadžbama regresije za predviđanje određenog atributa kvalitete.

Bioelektrička impedancija počela se primjenjivati kao metoda za ocjenu svježine ribe 60-ih godina prošlog stoljeća korištenjem uređaja koji su mjerili impedanciju na dvije odabrane frekvencije 1 kHz i 16 kHz (C a s t e l l, 1964; H e n n i n g s, 1964; H j o r t – H a n s e n, 1964; R u i t e r, 1964; W i t t f o g e l i S c h l e g e l, 1964). Izrađen je veliki broj prijenosnih uređaja koji se i danas koriste kao dodatna metoda kod ocjenjivanja svježine ribe, no također mogu utvrditi razliku između svježe i odmrznute ribe (Intelectron Fish Tester, Torrymeter, RT Meter). U novije vrijeme, izmjeri bioelektričke impedancije u širem frekvencijskom rasponu (1 Hz-1 MHz, 19 frekvencija) koristili su se za utvrđivanje promjena kvalitete tijekom smrzavanja vrste *Dicentrarchus labrax*, a dobiveni rezultati analizirali su se faktorskom i diskriminacijskom analizom (V i d a č e k i sur., 2008).

Impedancija je kompleksni otpor koji se sastoji od dvije komponente – rezistencije R (Ω) i reaktancije X (Ω). Komponenta rezistencije posljedica je kolizije čestica nosioca naboja čija ih unutarnja struktura definira kao vodiče. Komponenta reaktancije je dodatni

otpor prolasku električne struje, koji je posljedica promjena u magnetskom i električkom polju strujnog kruga koji propušta izmjeničnu struju. Impedancijom se mogu utvrditi promjene u kemijskom sastavu (P e t r a k i sur., 2001) ili strukturi tkiva (V i d a č e k i sur., 2008). Primjena impedancijske analize u utvrđivanju kvalitete smrznute ribe teoretski je opravdana time što se smrzavanjem oštećuje struktura tkiva, a utvrđena je povezanost između električkih parametara tkiva i integriteta stanične membrane (koji se uništava tijekom smrzavanja). Također je utvrđeno da su izmjeri impedancije na biološkom tkivu dobri pokazatelji ukupne vode u tkivu, a kako je jedna od glavnih karakteristika odmrznutog tkiva otpuštanje tekućine (kalo odmrzavanja), postoji potencijalna mogućnost utvrđivanja promjena uslijed smrzavanja putem mjerenja impedancije. Dosadašnja istraživanja na brancinu i lokardi pokazala su da se električka svojstva i posebice reaktancija razlikuju kod riba podvrgnutim različitim uvjetima smrzavanja (V i d a č e k i sur., 2008; V i d a č e k i sur., 2011).

U predmetnom istraživanju ispitivala se promjena kvalitete mišićnog tkiva pastrve uslijed smrzavanja (odnos svježe/smrznuto), te promjena kvalitete odmrznutog ribljeg tkiva koje je bilo podvrgnuto različitim režimima smrzavanja (brzo/sporo smrzavanje; jedan ili dva ciklusa smrzavanja i odmrzavanja) primjenom bioelektričke impedancijske analize. Cilj rada bio je utvrditi da li i u kojim komponentama električkih parametara postoje razlike između skupina uzoraka riba.

MATERIJAL I METODE RADA

Kao materijal za ispitivanje promjena kvalitete ribljeg mišićja uslijed smrzavanja, upotrijebljena je kalifornijska pastrva (*O. mykiss*), uzgojena na ribogojilištu do mase 450 - 500 g. Ispitivanje je provedeno na ukupno 100 uzoraka. Nakon izlova, uzorci su ohlađeni ljuskastim ledom i transportirani u Laboratorij za tehnologiju mesa i ribe, Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta.

Za ispitivanje utjecaja brzine smrzavanja na kakvoću mišićja, upotrijebljena su dva načina smrzavanja: imerziono smrzavanje u tekućem dušiku (brzo smrzavanje) te smrzavanje u hladnom zraku prirodnom konvekcijom (sporo smrzavanje).

Skladištenje u smrznutom stanju provedeno je na temperaturi od $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Odmrzavanje je provedeno pri temperaturi zraka od $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ tijekom 12 h.

Sa svrhom usporedbe karakteristika mišićja svježih i odmrznutih uzoraka ribe, te usporedbi razlika između brzine smrzavanja i broja ciklusa smrzavanja, uzorci obje vrste riba podijeljeni su u pet skupina po 20 uzoraka, te su, radi pojednostavljenja, nazvani na sljedeći način:

1. **svježi uzorci** (uzorci koji nisu podvrgnuti smrzavanju)
2. **sporo smrznuti – jedan ciklus** (uzorci koji su sporo smrznuti, skladišteni tijekom 14 dana na temperaturi $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, te odmrznuti zrakom temperature $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ tijekom 12 sati)
3. **sporo smrznuti – dva ciklusa** (uzorci koji su sporo smrznuti, skladišteni tijekom 14 dana na temperaturi $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, te odmrznuti zrakom temperature $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ tijekom 12 sati, ponovo sporo smrznuti, skladišteni tijekom još 14 dana na temperaturi $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, te odmrznuti zrakom temperature $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ tijekom 12 sati)

4. **brzo smrznuti – jedan ciklus** (uzorci koji su brzo smrznuti, skladišteni tijekom 14 dana na temperaturi -18 °C, te odmrznuti zrakom temperature +4 °C tijekom 12 sati)
5. **brzo smrznuti – dva ciklusa** (uzorci koji su brzo smrznuti, skladišteni tijekom 14 dana na temperaturi -18 °C, te odmrznuti zrakom temperature +4 °C tijekom 12 sati, ponovo brzo smrznuti, skladišteni tijekom još 14 dana na temperaturi -18 °C, te odmrznuti zrakom temperature +4 °C tijekom 12 sati)

Bioelektrička impedancijska analiza

Električki parametri mjereni su pomoću RLC metra 4284A HP. U istraživanju je korišten frekvencijski raspon od 0,1 kHz do 1 MHz, odnosno 19 frekvencija: 0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 50, 80, 100, 200, 300, 400, 500, 800 kHz i 1MHz, uz sinusnu pobudu konstantne efektivne vrijednosti struje od 0,2 mA, pri čemu su se mjerile vrijednosti rezistencije (R) i reaktancije (X).

Sva mjerenja provedena su na uzorcima jednakih dimenzija postavljenim na drvenu podlogu (izolator). Koristile su se igličaste elektrode promjera 5 mm, s jednakim razmakom između elektroda od 80 mm, na dubini od 7 mm i dvoelektrodnim načinom mjerenja, pri čemu se udaljenost između postavljenih elektroda mjerila pomoću pomične mjerke. Mjerenja su se provodila da uzorcima čija je temperatura iznosila $8 \pm 1,5$ °C (Precision Temperature Logger, EBI-2T-211, Ebro).

Fizikalno-kemijske metode

Određivanje udjela vode izvršeno je prema referentnoj metodi ISO 1442:1997. Određivanje ukupne količine masti izvršeno je prema HRN ISO 1443:1999. Sposobnost vezanja vode određena je metodom kompresije (G r a u i H a m m, 1953). pH vrijednost je mjerena direktnim ubodom u mišić digitalnim pH-metrom (704 pH Meter, Metrohm, Švicarska) uz ubodnu staklenu elektrodu 6.0236.100, istog proizvođača.

Statistička obrada podataka – fizikalno-kemijski parametri

Rezultati su obrađeni u programu SPSS verzija 9.0.

Za utvrđivanje razlika između svježih i smrznutih uzoraka u fizikalno-kemijskim parametrima, rezultati su analizirani metodom ANOVA za testiranje značajnosti razlike između srednjih vrijednosti 5 skupina uzoraka. Nakon utvrđivanja statistički značajne razlike između skupina uzoraka, provedena je analiza jednostavnih kontrasta ili jednostavnih glavnih efekata za utvrđivanje koje se skupine smrznutih uzoraka razlikuju od svježih skupine.

Za utvrđivanje razlika između smrznutih skupina uzoraka u broju ciklusa smrzavanja/odmrzavanja i brzine smrzavanja u fizikalno-kemijskim parametrima, rezultati su analizirani po 2x2 shemi ANOVA (faktor varijabiliteta između uzoraka su brzina i broj ciklusa). Nakon utvrđivanja statistički značajne razlike između skupina uzoraka, provedena je analiza glavnih efekata za utvrđivanje u kojim se frekvencijama razlikuju pojedine skupine uzoraka.

Statistička obrada podataka – električki parametri

Rezultati su obrađeni u programu SPSS verzija 9.0.

Mjerenjem električkih parametara dobio se veliki broj zavisnih varijabli (38 varijabli po uzorku), te je učinjena faktorska analiza za dobivanje manjeg broja ortogonalnih varijabli (glavnih komponenata) prema shemi 100 (ukupni broj uzoraka) x 38 (varijable rezistencija i reaktancija pri 19 frekvencija mjerenja).

Ortogonalne varijabe dobivene u faktorskoj analizi i varijable dobivene mjerenjem fizikalno-kemijskih svojstava (glavne komponente, udio vode, masti, sposobnost vezanja vode, pH vrijednost) upotrijebljene su u diskriminacijskoj analizi za određivanje varijabli koje najbolje diskriminiraju 5 skupina uzoraka.

REZULTATI I RASPRAVA

Fizikalno-kemijske metode

Srednje vrijednosti udjela vode za svježe uzorke pastrva iznosile su 78,00% što je statistički značajno različito u odnosu na skupine smrznutih uzoraka. Udio vode se nije razlikovao unutar skupina odmrznutih uzoraka. Srednje vrijednosti udjela masti za svježe uzorke iznosile su 1,91%. Rezultati pokazuju da postoji statistički značajna razlika između smrznutih uzoraka u udjelu masti samo između dva ciklusa sporog smrzavanja (Tablica 1). Razlike u udjelima masti i vode između svježih i smrznutih uzoraka mogu biti posljedica faktora prije smrzavanja (razlika u kemijskom sastavu uslijed nehomogenosti uzoraka pri izlovu) ili faktora uslijed smrzavanja (uslijed promjena koji uzrokuju povećan kalo odmrzavanja). Pastrva spada u polumasne ribe no udio masti u ovom radu je relativno nizak s obzirom na literaturne navode. Prema T e s t i i suradnicima (2006), udio masti pastrve iznosi 5,4%, no ovisi o dijelu fileta, tako da dorzalni dio sadrži značajno niže udjele masti od ventralnog dijela fileta. Razlike u udjelima vode i masti utvrđene su i u dorzalno-ventralnom i kranijalno-kaudalnom smjeru (F j e l l a n g e r i sur., 2001). U predmetnom radu, udio masti i vode dobiven je analizom cijelog fileta (bez kože) tako da se niske vrijednosti udjela masti ne mogu pripisati anatomsom položaju.

Tablica 1. Srednje vrijednosti i standardne devijacije fizikalnih i kemijskih parametara izmjerenih na 100 uzoraka kalifornijske pastrve. Različita slova (a,b) pokazuju statističku razliku između skupina uzoraka ($p < 0,05$)

Table 1. Average values and standard deviations of physical and chemical parameters measured on 100 samples of rainbow trout, Letters (a, b) show statistical difference between sample groups ($p < 0.05$)

Skupina uzoraka - Group	Udio vode – water content (%)	Udio masti – fat content (%)	Sposobnost vezanja vode – water holding capacity (%)	pH
Svježi - Fresh	78,00 ± 1,06 ^a	1,91 ± 0,83 ^a	10,00 ± 3,97 ^a	6,25 ± 0,25 ^a
Sporo smrznuti, 1 ciklus – Slow frozen, 1 cycle	76,47 ± 1,31 ^b	2,77 ± 1,09 ^b	20,25 ± 5,56 ^b	6,39 ± 0,15 ^a

Sporo smrznuti, 2 ciklusa – Slow frozen, 2 cycles	76,98 ± 1,05 ^b	2,16 ± 0,69 ^a	21,88 ± 3,53 ^b	6,55 ± 0,24 ^a
Brzo smrznuti, 1 ciklus – Fast frozen, 1 cycle	77,06 ± 1,37 ^b	2,71 ± 0,91 ^b	16,83 ± 4,40 ^b	6,39 ± 0,21 ^a
Brzo smrznuti, 2 ciklusa – Fast frozen, 2 cycles	76,83 ± 1,18 ^b	2,72 ± 0,83 ^b	17,13 ± 4,75 ^b	6,31 ± 0,18 ^a

Sposobnost vezanja vode predstavlja indirektnu mjeru denaturacije proteina. Kod većine autora prihvaćeno je da brzo smrzavanje uzrokuje manje promjene na proteinima uslijed toga što je tkivo kraće vrijeme u periodu maksimalne kristalizacije, iako postoje i radovi koji negiraju da su veće brzine smrzavanja povezane s boljim funkcionalnim svojstvima mišićnog tkiva (F a r o k i sur., 2003).

Rezultati ovog rada pokazuju da smrzavanje, bez obzira na brzinu, uzrokuje značajne promjene na tkivu pastrve u sposobnosti vezanja vode s obzirom na svježe uzorke (Tablica 1). Rezultati izmjera pH vrijednosti pokazuju da ne postoji razlika u pH vrijednostima između skupina uzoraka. Rezultati izmjera pH vrijednosti, iako teoretski povezani s denaturacijom proteina, u ovom radu ne pokazuju trend u smjeru promjene izmjera pri usporedbama brzine smrzavanja i broja ciklusa smrzavanja. Teoretski, kod sporog smrzavanja, voda s proteinima difundira iz stanice čime pridonosi rastu izvanstaničnih kristala leda, čime se povećava koncentracija soli u unutarstaničnom prostoru i mijenja se pH vrijednost. Povećanje koncentracije soli i promjena pH potencijalno mogu utjecati na denaturaciju proteina unutar vlakana. Uslijed toga, pH vrijednost bi trebala pokazati slične trendove s izmjerima sposobnosti vezanja vode, što nije vidljivo u ovom radu.

Multivarijatne metode

Cilj upotrebe multivarijatnih metoda u ovom radu bio je traženje optimalne frekvencije ili područja frekvencija kojima bi se mogle razlikovati ispitivane skupine uzoraka. U tu svrhu su, izmjere rezistencije i reaktancije svih 100 uzoraka, analizirane metodom glavnih komponenata pri čemu su dobivene 3 glavne komponente za svaku vrstu ribe (Tablica 2).

Tablica 2. Glavne komponente dobivene faktorskom analizom (metodom glavnih komponenata) izmjera električkih parametara 100 uzoraka pastrve

Table 2. Principal components extracted by principal component analysis of electrical parameters measured on 100 rainbow trout samples

Glavne komponente – Principal components	% Varijance - % of variance	Originalne varijable ekstrahirane u glavne komponente – original variables extracted in principal components
1	64,19	R (0,2 – 1000 kHz)
2	27,74	X (20 – 1000 kHz)
3	7,23	R (0,1 kHz); X (0,1 – 10 Hz)

Rezultati su pokazali da je od ukupnog frekvencijskog raspona (19 rezultata za rezistenciju i 19 rezultata za reaktanciju), moguće dobiti 3 glavne komponente od kojih prva obuhvaća 64,19% ukupne varijance (a opterećena je varijablama rezistencije od 0,2-1000

kHz), druga obuhvaća 27,74 % ukupne varijance (a opterećena je varijablom reaktancije od 20 –1000 kHz), a treća obuhvaća 7,23 % ukupne varijance (a opterećena je varijablom rezistencije pri 0,1 kHz i varijablama reaktancije od 0,1 – 10 kHz) (Tablica 2).

Diskriminacijska analiza je pokazala (Tablica 3) da je diskriminacijska funkcija 1 opterećena s 89% ukupne varijance, a da su prve 3 diskriminacijske funkcije statistički značajne za razlikovanje uzoraka između skupina. S diskriminacijskom funkcijom 1 najbolje je korelirala varijabla glavne komponente 2 iz analize glavnih komponenata (0,745) (Tablica 4), te se time zaključuje da je razlikovanje skupina uzoraka moguće primjenom izmjera reaktancije od 20-1000 kHz.

Tablica 3. Svojstvene vrijednosti diskriminacijskih funkcija (u diskriminacijskoj analizi za razlikovanje 5 skupina uzoraka)

Table 3. Characteristic values of discriminant functions (for distinguishing 5 different groups of samples in discriminant analysis)

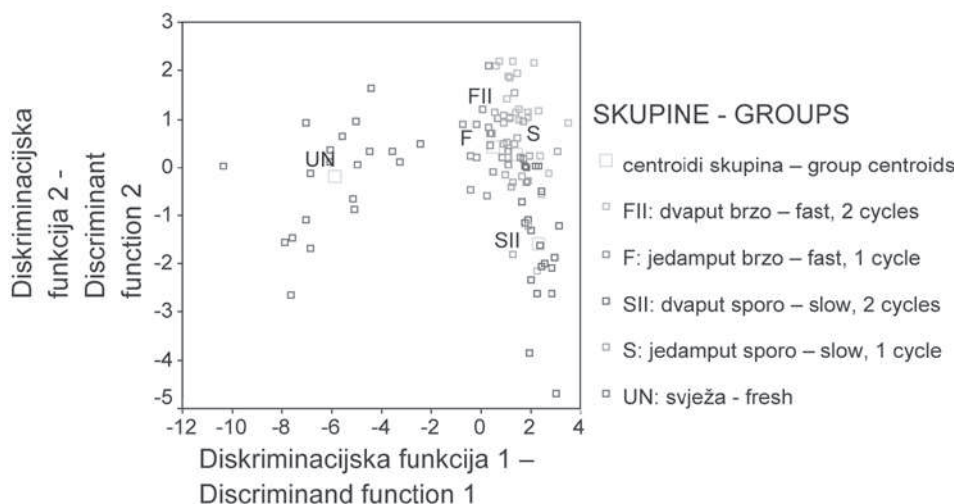
Funkcija – function	Svojstvena vrijednost – characteristic value	% varijance - % of variance
1	9,44	89,0
2	0,84	7,9
3	0,25	2,3
4	0,08	0,7

Tablica 4. Matrica strukture u diskriminacijskoj analizi za razlikovanje pet skupina uzoraka

Table 4. Structural matrix in discriminant analysis for distinguishing 5 different groups of samples

Varijable – variables	Diskriminacijske funkcije – discriminant functions			
	1	2	3	4
Glavna komponenta 2 – principal component 2	0,745	0,368	-0,376	-0,286
Glavna komponenta 3 – principal component 3	-0,028	0,755	0,239	0,566
pH	0,109	-0,367	-0,195	-0,050
Udio masti – fat content	0,087	0,304	-0,238	0,225
Glavna komponenta 1 – principal component 1	0,083	-0,192	0,846	0,025
Sposobnost vezanja vode – water holding capacity	0,283	-0,299	-0,084	0,678
Udio vode – water content	-0,128	-0,099	0,038	-0,561

Na Slici 1 jasno je vidljivo grupiranje uzoraka, a u Tablici 5 prikazan je udio pravilno klasificiranih uzoraka. Pravilno je klasificirano 19 svježih uzoraka, dok su ostale skupine uzoraka riba nešto manje uspješno klasificirane. Ukupno je pravilno klasificirano 77% uzoraka.



Slika 1. Grupiranje 100 uzoraka kalifornijske pastrve

Figure 1. Grouping of 100 samples of rainbow trout

Tablica 5. Klasifikacija 100 uzoraka kalifornijske pastrve nakon provedene diskriminacijske analize (pravilna klasifikacija – 77% uzoraka)

Table 5. Classification of 100 rainbow trout samples after applied discriminant analysis (77% of samples were correctly classified)

Faktori - factors	Klasifikacija uzoraka u skupine – classification of samples in groups					Ukupno – total
	Svježa - fresh	Sporo, 1 ciklus – slow, 1 cycle	Sporo, 2 ciklusa – slow, 2 cycles	Brzo, 1 ciklus – fast, 1 cycle	Brzo, 2 ciklusa – fast, 2 cycles	
Svježa - fresh	19	0	0	1	0	20
Sporo, 1 ciklus – slow, 1 cycle	0	13	2	2	3	20
Sporo, 2 ciklusa – slow, 2 cycles	0	3	15	0	2	20
Brzo, 1 ciklus – fast, 1 cycle	0	5	0	14	1	20
Brzo, 2 ciklusa – fast, 2 cycles	0	2	1	1	16	20

Rezultati multivarijantnih statističkih metoda pokazuju da je od analiziranih karakteristika, reaktancija pri srednjim i visokim frekvencijama najbolji pokazatelj promjena u kvaliteti uslijed smrzavanja. Rezultati impedancijskih izmjera ovise o kemijskom sastavu, geometriji tkiva koji se ispituje, temperaturi, udjelu soli, prirodi i mobilnosti iona. Prema Yu i suradnicima (2004), svi tipovi oštećenja koji nastaju tijekom smrzavanja

(oštećenja membrana, denaturacija proteina i mehanička destrukcija stanica) reflektiraju se u promjeni impedancije. Reaktancija je imaginarna komponenta impedancije i neovisna je o temperaturi i geometriji tkiva. Ako se promatra biološko tkivo kao uzorak kroz koji se propušta izmjenična struja, pojedini dijelovi tkiva pridonose realnoj i imaginarnoj komponenti impedancije. Izvanstanična i unutarstanična tekućina se sastoje od vode, molekula i iona koji uglavnom pridonose realnoj komponenti, odnosno rezistenciji, dok se stanična membrana ponaša kao kondenzator te time pridonosi imaginarnoj komponenti, odnosno reaktanciji. Tijekom smrzavanja i odmrzavanja dolazi i do oštećenja membrana i do gubitka odmrzavanja te time do gubitka vode i iona. U ovom radu je vidljivo da realna komponenta, iako ovisna o koncentraciji iona, nije presudna za razlikovanje skupina svih ispitivanih uzoraka. S druge strane, reaktancija je varijabla koja je najzaslužnija za razlikovanje 77% uzoraka. Najbolje je razlikovanje svježih uzoraka, dok su se ostale skupine lošije međusobno razlikovale. Razlike između broja ciklusa smrzavanja teško je utvrditi, jer se većina destrukcija događa već nakon jednog ciklusa smrzavanje/odmrzavanje. Rezultati Y u i sur. (2004) pokazuju da prvi ciklus smrzavanje/odmrzavanje ima odlučujuću ulogu u oštećenju tkiva. Drugim ciklusom dolazi također do značajnih razlika, no one su puno manje izražene. Međutim, razlike između brzo i sporo smrznutih uzoraka bile su očekivani rezultat ovog rada. Moguće je da je razlog lošijeg razlikovanja skupina koje su smrznute različitim načinima smrzavanja skladištenje koje je provedeno na temperaturi od -18 °C, bez obzira na brzinu odnosno temperaturu smrzavanja. Trajanje skladištenja bilo je relativno kratko, no moguće je da je došlo do rekristalizacije i pojave velikih kristala leda koji su nakon 14 dana skladištenja utjecali na oštećenja tkiva te time na nepostojanje razlike između brzo i sporo smrznutih uzoraka.

ZAKLJUČAK

Uvjeti smrzavanja djeluju i na električka svojstva mišićja pastrve. Reaktancija mjerena pri srednjim i visokim frekvencijama ima potencijal za razlikovanje riba smrznutih na različite načine, što je u skladu s dosadašnjim istraživanjima na brancinu i lokardi.

Summary

EFFECTS OF FREEZING ON IMPEDANCE OF RAINBOW TROUT
(*Oncorhynchus mykiss*)

S. Vidaček, T. Janči, N. Marušić, T. Petrak, T. Vnućec i H. Medić¹

The aim was to examine the electrical characteristics of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets subjected to different freezing methods. Resistance (R) and reactance (X) were measured in the range from 1 Hz to 1MHz on 100 samples and recorded data was analyzed by principal component analysis (PCA). Results of principal component analysis showed that the results of resistance and reactance measurements can be extracted into 3 principal components. Results of discriminant analysis showed that the use of principal components, physical and chemical measurements, it is possible to correctly classify 77% of samples. It was observed that the reactance measured at medium and high frequencies is sensitive to changes in the structure of trout fillets due to different freezing methods.

Key words: impedance, reactance, freezing, trout

LITERATURA

- Boknaes, N., Jensen, K.N., Andersen, C.M., Martens, H. (2002): Freshness assessment of thawed and chilled cod fillets packed in modified atmosphere using near-infra red spectroscopy. *Lebensm.-Wiss. U.- Technol.*, 35, 628-634.
- Castell, C.H. (1964): Preliminary studies of Quality Assessment with the Interelectron fish tester V. pp 158-161. U: Kreutzer, R. (ed.) *The technology of fish utilization*. Fishing News (Books) Ltd, London, England.
- Farouk, M.M., Wieliczko, K.J., Mertz, I. (2003): Ultra-fast freezing and low storage temperature are not necessary to maintain the functional properties of beef. *Meat Sci.*, 66, 171-179.
- Fennema, O. (1977): Loss of vitamins in fresh and frozen foods. *Food Tech*, 12, 32-38.
- Fjellanger, K., Obach, A., Rosenlund, G. (2001): Proximate analysis of fish with special emphasis on fat. pp 307-317. U: Kestin, S.C., Warriss, P.D. (eds.) *Farmed fish quality*. Blackwell Science, Oxford, England.
- Grau, R., Hamm, R. (1953): Eine einfache Methode zur Beshmmung der Wasserbindung im Muskel. *Naturwissenschaften*, 4, 29-30.

¹ Dr. sc. Sanja Vidaček, docent, e-mail: svidacek@pbf.hr; Tibor Janči, dipl. ing., e-mail: tjanci@pbf.hr; Nives Marušić, dipl. ing., e-mail: nmarusic@pbf.hr; dr. sc. Tomislav Petrak, redoviti profesor u trajnom zvanju, e mail: tpetrak@pbf.hr; Tatjana Vnućec, dipl. ing., dr. sc. Helga Medić, izvanredni profesor, email: hmedic@pbf.hr; Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb.

- Hedges, N. (2001): Maintaining the quality of frozen fish. pp. 379-406. U: Bremner, H.A. (ed.) Safety and quality issues in fish processing. Woodhead Publishing limited, Cambridge, England.
- Hennings, C. (1964): The «Interelectron Fish Tester V» - A new electronic method and device for the rapid measurement of the degree of freshness of «wet» fish. pp 154-157. U: Kreutzer, R. (ed.) The technology of fish utilization. Fishing News (Books) Ltd, London, England.
- Hjort-Hansen, S. (1964): Measurement of fish quality by the Intelectron fish tester V. pp 169-170. U: Kreutzer, R. (ed.) The technology of fish utilization. Fishing News (Books) Ltd, London, England.
- Karoui, R., Thomas, E., Dufour, E. (2006): Utilisation of a rapid technique based on front-face fluorescence spectroscopy for differentiating between fresh and frozen-thawed fish fillets. Food Res. Int., 39, 349-355.
- Kent, M., Knochel, R., Daschner, F., Schimmer, O., Tejada, M., Huidobro, A., Nunes, L., Batista, I., Martins, A. (2005): Determination of the quality of frozen hake using its microwave dielectric properties. Int. J. Food Sci. Technol., 40, 55-65.
- Kent, M., Oehlschlager, J., Mierke-Klemeyer, S., Knochel, R., Dascher, F., Schimmer, O. (2004): Estimation of the quality of frozen cod using a new instrumental method. Eur. Food Res. Technol., 219, 540-544.
- Petrak, T., Tonković, S., Jelić, A., Medić, H. (2001): Application of electrical impedance analysis in predicting poultry muscles composition. Arch. Geflügelkd., 65, 123-129.
- Rehbein, H. (2002): Measuring the shelf-life of frozen fish. pp 407-424. U: Bremner, H.A. (ed.) Safety and quality issues in fish processing. Woodhead Publishing limited, Cambridge, England.
- Ruiter, A. (1964): Experiments with the Interelectron Fish Tester V. pp 168. U: Kreutzer, R. (ed.) The technology of fish utilization. Fishing News (Books) Ltd, London, England.
- Tejada, M. (2001): Aggregation of Myofibrillar Proteins During Frozen Storage of Fish. pp 212-226. U: Bozoglu, F., Deak, T., Ray, B. (eds.) Novel Processes and Control Technologies in the Food Industry. IOS Press, Amsterdam, Netherlands.
- Testi, S., Bonaldo, A., Gata, P.P., Badiani, A. (2006): Nutritional traits of dorsal and ventral fillets from three farmed fish species. Food Chem., 98, 104-111.
- Vidaček, S., Medić, H., Botka-Petrak, K., Nežak, J., Petrak, T. (2008): Bioelectrical impedance analysis of frozen sea bass (*Dicentrarchus labrax*). J. Food Eng., 88, (2), 263-271.
- Vidaček, S., Medić, H., Marušić, N., Tonković, S., Petrak, T. (2011): Influence of different freezing regimes on bioelectrical properties of atlantic chub mackerel (*Scomber colias*). Journal of Food Process Engineering, (*u objavi*).
- Wittfogel, H., Schlegel, H.L. (1964): The suitability of the Intelectron fish tester V in the daily quality control and grading of wet fish landings. pp 162-164. U: Kreutzer, R. (ed.) The technology of fish utilization. Fishing News (Books) Ltd, London, England.

Yu, T.H., Liu, J., Zhou, Y.X. (2004): Using electrical impedance detection to evaluate the viability of biomaterials subject to freezing or thermal injury. *Anal. Bioanal. Chem.*, 378, 1793-1800.

Primljeno: 25. 3. 2011.

Prihvaćeno: 29. 6. 2011.