



Effects of Dietary Selenium on Paraoxonase and Arylesterase Enzyme Activities in Freshwater Crayfish *Astacus leptodactylus*

Serpil Mişe Yonar^{1*}, Muzaffer Harhoğlu²

^{1*}Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries, University of Firat, 23119 Elazığ, Turkey
Corresponding author, E-mail: serpilmise@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2736-5731>

²Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries, University of Firat, 23119 Elazığ, Turkey
E-mail: mharlioglu@firat.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8288-0571>

ARTICLE INFO

Research Article

Received : 12/09/2018
Accepted : 26/12/2018

Keywords:
Arylesterase
Astacus leptodactylus
Crayfish
Paraoxonase
Selenium

ABSTRACT

In this study, the effects of selenium added to the diets of *Astacus leptodactylus* at different ratios on paraoxonase (PON) and arylesterase enzyme activities (ARE) in the hepatopancreas and gonad tissues were investigated. In this study, control (K), trial 1 (D1), trial 2 (D2) and trial 3 (D3) were prepared at the selenium levels of 0,3, 0,6, 0,9 and 1,2 mg/kg, respectively. The crude protein and total energy levels of experimental diets were equalized. 12 ponds in 2 × 2 × 1 m dimensions were used. 75 female and 25 male crayfish were stocked in each pond (totally 1200 crayfish). This study was carried out in triplicate. The crayfish were fed twice a day during 9 months. PON and ARE enzyme activities were investigated in the tissue samples taken monthly from the crayfish. During the trial, significant differences were observed in the PON and ARE enzyme activities in the hepatopancreas and gonad tissues. The PON and ARE enzyme activities increased statistically significant in the crayfish tissues during the breeding season and incubation period. This increase was found to be statistically different in the D1, D2 and D3 groups compared to the control group. In conclusion, selenium had positive effects on PON and ARE enzyme activities of *A.leptodactylus* during its mating, pleopodal egg laying and pleopodal egg carrying periods.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(2): 240-245, 2019

Kerevit (*Astacus leptodactylus*) Yemine Katılan Selenyumun Paraoksonaz ve Arilesteraz Enzim Aktivitelerine Etkisi

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş : 12/09/2018
Kabul : 26/12/2018

Anahtar Kelimeler:
Arilesteraz
Astacus leptodactylus
Kerevit
Paraoksanaz
Selenyum

ÖZ

Bu çalışmada kerevit (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz) yemine farklı oranlarda katılan selenyumun hepatopankreas ve gonad dokularında paraoksonaz (PON) ve arilesteraz (ARE) enzim aktivitelerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, toplam selenyum düzeyi 0,3, 0,6, 0,9 ve 1,2 mg/kg yem olan sırasıyla; Kontrol (K), Deneme 1 (D1), Deneme 2 (D2) ve Deneme 3 (D3) yemleri oluşturulmuştur. Araştırma yemlerinin ham protein ve toplam enerji düzeyleri eşitlenmiştir. Çalışmada ebatları 2,0 × 2,0 × 1,0 m olan 12 adet havuz kullanılmıştır. Her bir havuza 75 dişi-25 erkek olacak şekilde toplam 1200 adet kerevit stoklanmıştır. Üç tekrarlı olarak yürütülen çalışmada kerevitler günde 2 öğün olmak üzere 9 ay süreyle yemlenmiştir. Kerevitlerden aylık olarak alınan doku örneklerinde PON ve ARE enzim aktiviteleri tespit edilmiştir. Deneme süresince hepatopankreas ve gonad dokularındaki PON ve ARE enzim aktivitelerinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur. Kerevitlerin dokularında üreme sezonu ve kuluçka süresi boyunca PON ve ARE enzim aktivitelerinin arttığı belirlenmiştir. Bu artışın kontrol grubuna kıyasla D1, D2 ve D3 gruplarında istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, selenyumun *A. leptodactylus*'un çiftleşme dönemi, yumurtlama dönemi ve kuluçka süresi boyunca PON ve ARE enzim aktivitelerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.



Giriş

Tatlı su istakozu (kerevit) dünyanın birçok ülkesinde nehir, göl ve baraj göllerinde bulunan, ayrıca kültürü yapılabilen kabuklu su ürünlerindedir. Kerevitin, başta Amerika olmak üzere, Afrika dışındaki bütün kıtalarda, doğal olarak 500'ün üzerinde türü bulunmaktadır. En önemli cinsleri; *Astacus*, *Pacifastacus*, *Procambarus*, *Orconectes*, *Austropotamobius* ve *Cherax*'tır (Holdich, 1993; Ackefors, 2000). *Astacus leptodactylus* doğal kerevit türümüz olup yurdumuzda geniş bir dağılım alanına sahiptir (Harlioğlu, 2008).

Selenyum, canlıların üreme ve büyümeleri için gerekli temel bir elementtir. Hem toksik hem de esansiyel bir element olması, vücutta vitamin E ile beraber fizyolojik olarak antioksidan özellik gösteren bazı enzimlerin yapısına girmesi, bağışıklık sisteminin fonksiyonu için gerekli olması gibi özellikleri nedeni ile yetiştiricilikte büyük öneme sahiptir. Bu nedenle yetiştiriciliği yapılan birçok türün büyümesi, toksisitesi, bağışıklık ve antioksidan sistemi üzerine selenyumun etkisini araştıran çalışmalar son yıllarda bir hayli artmıştır (Wang ve ark., 2007).

PON ve ARE, aynı gen tarafından kodlanan ve aktif merkezleri benzer olan esteraz grubundaki enzimlerdir.

PON (PON1, E.C.3.1.8.1) enzimi ilk olarak 1953 yılında Aldridge tarafından insan kan serumunda bulunmuştur (Mackness ve ark., 1987). PON, hem ARE (E.C. 3.1.1.2) hem de PON aktivitesine sahip, glikoprotein yapısında olan kalsiyum bağımlı bir ester hidrolaz enzimidir (Mackness ve ark., 1996; Mackness ve ark., 1997; Gürsu ve Özdin, 2002).

Bu çalışmada kerevit yemine farklı oranlarda katılan selenyumun hepatopankreas ve gonad dokularındaki PON ve ARE enzim aktivitelerine etkisi araştırıldı.

Materyal ve Metot

Araştırmanın deneysel aşaması Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Çip Balık Üretim ve Yetiştirme Tesisinde Ağustos 2009 - Haziran 2010 tarihleri arasında 3 tekrarlı olarak yürütüldü. Araştırmada 4 farklı deneme grubu oluşturuldu. Bunlardan birincisi Kontrol (K; 0,3 mg selenyum/kg yem), diğer üçü ise Deneme 1 (D1; 0,6 mg selenyum/kg yem), Deneme 2 (D2; 0,9 mg selenyum/kg yem) ve Deneme 3 (D3; 1,2 mg selenyum/kg yem) gruplarından oluştu.

Tablo 1 Araştırma yemlerinin formülasyonu ve yaklaşık kompozisyonu
Table 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets

Yem öğeleri (%)	Araştırma yemleri			
	Kontrol	Deneme 1	Deneme 2	Deneme 3
Balık unu	25	25	25	25
Soya küspesi	38	38	38	38
Buğday unu	18	18	18	18
Mısır glütteni	12,82	12,82	12,82	12,82
Bitkisel yağ	4,00	4,00	4,00	4,00
Sodyum fosfat	1,00	1,00	1,00	1,00
Dikalsiyum fosfat	0,40	0,40	0,40	0,40
Antioksidan ¹	0,1	0,1	0,1	0,1
Vitamin karması ²	0,5	0,5	0,5	0,5
Mineral karması ³	0,18	0,18	0,18	0,18
Selenyum ⁴ (mg/kg yem)	0,03	0,33	0,63	0,93
Toplam	100	100	100	100

¹Butilen Hidroksi Toluen (BHT); 125 000 mg/kg, ²Vitamin Karması (Her 1 kg Rovimix 107'de aktif madde olarak); Vitamin A 250 000 IU, vitamin D₃ 240 000 IU, vitamin E 10 000 IU, vitamin K 3 000 mg, vitamin B₁ 1000 mg, vitamin B₂ 3000 mg, vitamin B₆ 2000 mg, vitamin B₁₂ 4 mg, kolin klorid 100 000 mg, vitamin C 6000 mg, niasin 30 000 mg, kalsiyum d-pantothenat 10 000 mg, folik asit 600 mg, d-biotin 200 mg, ³Mineral Karması (New, 1987'e göre hazırlanmıştır; mg/kg); Fe 50 000, Cu 3 000, Co 10, Mn 20 000, Zn 30 000, I 100, ⁴Selenyum; Sodyum Selenit (Na₂SeO₃).

Ağustos ayında temin edilen ve ortalama ağırlığı 29,0±0,5 g ve uzunluğu 10±0,5 cm olan kerevitler 2,0 × 2,0 × 1,0 m ebatlarındaki 12 adet beton havuza 25 erkek - 75 dişi (toplam 100 adet) olacak şekilde yerleştirildi. Havuzların tabanına kerevitlerin gizlenmesi için plastik borular (çap: 7 cm, boy: 24-25 cm) yerleştirildi ve 1 m² yüzey alanı için dakikada 1,5 litre su akışı sağlandı. Havuzların üzeri tel eleklerle kapatıldı. Kerevitlerin bir ay süreyle ortama ve pelet yeme adaptasyonları sağlandı. Daha sonra kerevitler 1 Ekim 2009 – 30 Haziran 2010 tarihine kadar günde iki öğün olmak üzere 9 ay süreyle hazırlanan deneme yemleri ile yemlendi.

Çalışmaya başlamadan önce kerevitlere uygulanacak yemlerin selenyum düzeyini belirlemek ve buna göre selenyum ilavesini gerçekleştirmek için selenyum ilave edilmeyen, %42,85 oranında ham protein, 3326 kkal/kg toplam enerji içeren bir kontrol yemi New (1976), Köksal (1988), Celada ve ark., (1989), Reigh ve ark., (1990),

Ackefors ve ark., (1992), Ravi ve ark., (1999), Elia ve ark., (2007) ve Dörr ve ark., (2008)'e göre hazırlandı. Kontrol yeminin düzenlenmesinde Haşimoğlu ve Aksoy (1977)' un bildirdiği rasyon hesaplama metotlarından yararlandı. Kontrol yemindeki selenyum düzeyi Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü' nde ICP spektroskopisi ile analiz edildi ve 0,27 mg/kg yem olarak belirlendi. Bu yeme sırasıyla 0,03 mg (K; 0,3 mg selenyum/kg yem), 0,33 mg (D1; 0,6 mg selenyum/kg yem), 0,63 mg (D2; 0,9 mg selenyum/kg yem) ve 0,93 mg (D3; 1,2 mg selenyum/kg yem) selenyum ilave edilerek deneme yemleri oluşturuldu (Tablo 1).

Çiftleşmeden sonra erkek kerevitler havuzlardan kaldırıldığı için dişi kerevitlerden her ayın sonunda hepatopankreas ve gonad örnekleri alındı. Dokular Yonar (2008) tarafından bildirilen metoda göre homojenize edildi. Elde edilen homojenatlarda PON enzim aktivitesi spektrofotometrik olarak tayin edildi. Aktivite ölçümü için

sırasıyla, 850 µl Tris-HCl tamponu (100 mM, pH:8) + 100 µl substrat çözeltisi (2 mM paraokson + 2 mM koenzim CaCl₂) + 100 µl enzim çözeltisi karıştırılıp 412 nm ve 37°C’de 1 dakikada absorbansta meydana gelen değişme okundu. PON enzim aktivitesinin ölçülmesi için substrat olarak paraokson kullanıldı. ARE enzim aktivitesi de aynı prensiple ölçüldü fakat substrat olarak fenilasetat kullanıldı (Dubravka ve ark., 2001). Bir ünite PON aktivitesi bir dakikada oluşan 4-nitrofenol, bir ünite ARE aktivitesi ise bir dakikada oluşan µmol fenol olarak belirlendi.

Denemede elde edilen sonuçların istatistiksel analizleri SPSS 12.0 istatistik programı kullanılarak gerçekleştirildi. Kontrol ve deneme grubu kerevitlerinin enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimler tek yönlü varyans analizi (ONEWAY – ANOVA) ile test edildi.

Bulgular ve Tartışma

Araştırma süresince, deneysel gruplardaki kerevitlerin hepatopankreas ve gonad dokusundaki PON aktivitesinde belirlenen değişimler Tablo 2 ve 3’de ARE aktivitesinde belirlenen değişimler ise Tablo 4 ve 5’de verilmiştir.

Çalışmanın başlangıcı olan Eylül ayı sonunda kontrol, D1, D2 ve D3 gruplarının PON ve ARE aktivitesi arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemsiz olduğu (P>0,05) belirlendi. Kerevitlerin 9 ay süreyle araştırma yemleri ile beslenmesi sonucunda kontrol ve deneme gruplarının hepatopankreas ve gonad dokularında, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarındaki PON ve ARE aktivitesinde gruplara ve aylara göre istatistiksel olarak önemli değişimler tespit edildi (P<0,05).

Tablo 2 Kontrol ve deneme grubu yemleri ile beslenen kerevitlerin hepatopankreas dokusunda PON aktivitesindeki zamana bağlı değişimler (Ortalama ± standart sapma, U/g)

Table 2 Time-dependent changes in PON activity in hepatopancreas tissues of crayfish fed the control and experimental group feeds (mean ± standard deviation, U/g)

Aylar	N	Deneme Grupları			
		K	D1	D2	D3
Eylül	60	35,25 ± 4,02 ^{A; a}	34,64 ± 5,52 ^{B,C; a}	34,52 ± 4,74 ^{E; a}	34,16 ± 3,51 ^{C; a}
Ekim	60	30,85 ± 4,21 ^{A,B; a}	35,16 ± 3,58 ^{B,C; a,b}	41,93 ± 5,57 ^{D; b,c}	45,58 ± 7,88 ^{B; c}
Kasım	60	28,16 ± 2,45 ^{B; a}	33,66 ± 2,89 ^{B,C; a}	43,85 ± 6,37 ^{C; b}	46,17 ± 4,19 ^{B; b}
Aralık	60	31,65 ± 3,68 ^{A,B; a}	38,54 ± 5,36 ^{B; b}	51,41 ± 6,17 ^{B,C; c}	51,14 ± 5,41 ^{B; c}
Ocak	60	34,24 ± 5,7 ^{A; a}	50,63 ± 3,99 ^{A; b}	61,00 ± 8,23 ^{A; c}	66,52 ± 6,57 ^{A; c}
Şubat	60	20,98 ± 2,16 ^{C; a}	21,20 ± 2,48 ^{D; a}	24,17 ± 4,10 ^{F; b}	27,63 ± 3,74 ^{D; b}
Mart	60	30,51 ± 4,18 ^{A,B; a}	33,41 ± 3,61 ^{B,C; a,b}	39,42 ± 6,79 ^{D,E; b,c}	45,29 ± 4,44 ^{B; c}
Nisan	60	32,41 ± 3,20 ^{A,B; a}	35,64 ± 5,82 ^{B,C; a,b}	41,79 ± 4,42 ^{D; b}	49,85 ± 7,71 ^{B; c}
Mayıs	60	27,75 ± 2,56 ^{B; a}	30,30 ± 2,85 ^{C; a}	55,28 ± 8,51 ^{A,B; b}	61,33 ± 5,28 ^{A; b}
Haziran	60	34,25 ± 3,36 ^{A; a}	45,71 ± 4,24 ^{A; b}	60,99 ± 6,69 ^{A; c}	67,38 ± 8,33 ^{A; c}

^{a,b,c,d} Aynı satırda yer alan farklı harfler taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0,05), ^{A,B,C,D,E,F,G,H} Aynı sütunda yer alan farklı harfler taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0,05).

Tablo 3 Kontrol ve deneme grubu yemleri ile beslenen kerevitlerin gonad dokusunda PON aktivitesindeki zamana bağlı değişimler (Ortalama ± standart sapma, U/g)

Table 3 Time-dependent changes in PON activity in gonad tissues of crayfish fed the control and experimental group feeds (mean ± standard deviation, U/g)

Aylar	N	Deneme Grupları			
		K	D1	D2	D3
Eylül	60	29,17 ± 4,47 ^{A; a}	29,76 ± 3,65 ^{B,C; a}	29,23 ± 3,19 ^{D; a}	29,89 ± 2,67 ^{F; a}
Ekim	60	23,86 ± 2,25 ^{B; a}	27,84 ± 3,33 ^{B,C,D; a}	37,25 ± 5,71 ^{C; b}	40,63 ± 4,16 ^{D,E; b}
Kasım	60	19,24 ± 1,88 ^{C; a}	26,08 ± 4,13 ^{C,D; b}	36,16 ± 3,94 ^{C; c}	39,70 ± 4,85 ^{E; c}
Aralık	60	21,69 ± 2,03 ^{B,C; a}	30,85 ± 3,55 ^{B,C; b}	41,97 ± 6,96 ^{B,C; c}	47,38 ± 4,80 ^{C,D; c}
Ocak	60	24,52 ± 3,57 ^{B; a}	39,54 ± 4,49 ^{A; b}	48,92 ± 8,78 ^{A,B; c}	52,79 ± 5,51 ^{B,C; c}
Şubat	60	21,17 ± 2,22 ^{B,C; a}	23,27 ± 3,11 ^{D; a}	24,80 ± 3,27 ^{E; a,b}	28,12 ± 2,58 ^{F; b}
Mart	60	23,19 ± 2,20 ^{B; a}	26,19 ± 4,06 ^{C,D; a}	42,68 ± 4,2 ^{B,C; b}	46,73 ± 6,82 ^{C,D; b}
Nisan	60	29,44 ± 4,14 ^{A; a}	40,98 ± 5,27 ^{A; b}	51,24 ± 7,78 ^{A; c}	58,77 ± 4,99 ^{B; c}
Mayıs	60	24,36 ± 3,39 ^{A; a}	32,04 ± 4,75 ^{B; b}	49,86 ± 6,2 ^{A; c}	55,21 ± 5,01 ^{B; c}
Haziran	60	29,64 ± 3,10	45,52 ± 5,19 ^{A; b}	56,95 ± 7,41 ^{A; c}	69,81 ± 6,97 ^{A; d}

Deneysel gruplardaki kerevitlerin incelenen dokularındaki PON ve ARE aktivitesinin çiftleşme ve yumurtlama döneminin başladığı Kasım ve Aralık aylarında diğer aylara oranla istatistiksel olarak önemli bir oranda arttığı belirlendi. Bu aylarda selenyumun yüksek dozları ile beslenen gruplardaki (D2 ve D3) kerevitlerin dokularındaki PON ve ARE aktivitesinin kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli düzeyde arttığı görüldü.

Benzer şekilde birinci devre yavruların oluşmaya başladığı Mayıs ve Haziran ayları için de PON ve ARE aktivitesinin yükseldiği, ancak D2 ve D3 gruplarında kerevitlerin incelenen dokularındaki PON ve ARE aktivitesinin kontrol grubuna göre arttığı saptandı. Araştırma süresince sadece Şubat ayı PON ve ARE aktivitesinin Eylül ayına yakın olduğu belirlendi.

Deneme süresince hepatopankreas ve gonad dokularındaki PON ve ARE aktivitesinin aylara göre farklılık gösterdiği, özellikle selenyumun artan dozuna bağlı olarak dokulardaki PON ve ARE aktivitesinin kontrol grubuna göre önemli oranda arttığı tespit edildi ($P < 0,05$).

Bu çalışmada PON ve ARE aktivitesinin ölçülmesi için gonad ve hepatopankreas dokuları seçilmiştir. Hepatopankreas kerevitlerde primer metabolik organ olduğu için, gonad ise üreme döneminde bu enzimlerin düzeylerinde meydana gelen değişimler incelendiği için tercih edilmiştir.

PON, yüksek dansiteli lipoprotein (HDL)'ye bağlı, organofosfat ajanları ve düşük dansiteli lipoprotein (LDL)'in oksidasyonu ile lipid peroksitlerin oluşumuna ve diğer radikallere karşı koruyucu rol oynayan önemli bir enzimdir. PON enzimi detoksifikasyon ve antioksidan özelliğe sahip olup hidrojen peroksiti (H_2O_2) hidroliz edebilir. Hidrojen peroksit, başlıca reaktif oksijen türüdür ve oksidatif stres altında LDL oksidasyonuna neden olan reaktif oksijen türüne dönüşür. Dolayısıyla, PON' un, okside LDL'deki kolesterol linoleat hidroperoksitleri ve hidroksitleri indirgemesi nedeni ile peroksidaz benzeri aktivitesi de olduğu bildirilmiştir (Özkan ve ark., 2004; Turk ve ark., 2004; Miyamoto ve ark., 2005).

Kerevitlerde PON ve ARE enzim aktivitesi üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bunun

yanı sıra balıklarda PON ve ARE enzim aktivitesi ile ilgili farklı teoriler vardır. Bazı araştırmacılar balıklarda bu enzim aktivitelerinin olmadığını iddia ederken (Mackness ve ark., 1996; Durrington ve ark., 2001; Başkol ve Köse, 2004) bazı araştırmacılar ise bu enzim aktivitelerinin balıklarda görüldüğünü ifade etmişlerdir (Bastos ve ark., 1998a, b; Folly ve ark., 2001; Beyaztaş ve ark., 2007; Altinok ve ark., 2012; Karataş ve Kocaman, 2012; Yonar ve ark., 2012). Bu çalışmalar da genellikle balıklardaki enzimlerin yalnızca saflaştırması ve düzeyinin belirlenmesi yönünde olmuştur. Örneğin, Beyaztaş ve ark. (2007) sazanlara kadmiyum, bakır, civa ve kobalt gibi ağır metalleri uygulamış, bu maddelerin PON enzimini farklı düzeylerde inhibe ettiğini bulmuşlardır. Alabalıklarda yapılan başka bir çalışmada normal ve albino gökkuşuğu alabalıklarında serum PON aktivitesinin düzeyi karşılaştırılmış ve sonuçta albino türlerde PON aktivitesi daha yüksek bulunmuştur (Karataş ve Kocaman, 2012). Aynı balık türünde yapılan diğer bir çalışmada ise, bir pestisit olan carbosulfan'ın plazma PON aktivitesini istatistiksel olarak önemsiz bir düzeyde azalttığı belirlenmiştir (Altinok ve ark., 2012). Yonar ve ark. (2012) sazanlara krom uygulamasıyla serumdaki PON ve ARE aktivitesinin azaldığını fakat bu azalmanın propolis uygulamasıyla engellendiğini belirlemişlerdir.

Tablo 4 Kontrol ve deneme grubu yemleri ile beslenen kerevitlerin hepatopankreas dokusunda ARE aktivitesindeki zamana bağlı değişimler (Ortalama \pm standart sapma, U/mg)

Table 4 Time-dependent changes in ARE activity in hepatopancreas tissues of crayfish fed the control and experimental group feeds (mean \pm standard deviation, U/mg)

Aylar	N	Deneme Grupları			
		K	D1	D2	D3
Eylül	60	53,41 \pm 6,71 ^{D,E; a}	55,13 \pm 3,48 ^{F; a}	54,50 \pm 4,19 ^{D; a}	53,54 \pm 7,75 ^{D; a}
Ekim	60	55,25 \pm 4,69 ^{D,E; a}	57,08 \pm 3,98 ^{E,F; a}	48,35 \pm 6,43 ^{D; a}	53,41 \pm 5,52 ^{D; a}
Kasım	60	55,12 \pm 5,18 ^{D,E; a}	111,28 \pm 12,06 ^{A; b}	146,41 \pm 17,78 ^{A; c}	154,70 \pm 16,41 ^{A; c}
Aralık	60	57,37 \pm 3,99 ^{C,D; a}	69,06 \pm 7,09 ^{C,D; b}	92,54 \pm 8,12 ^{B; c}	98,33 \pm 10,64 ^{B; c}
Ocak	60	48,34 \pm 5,84 ^{E,F; a}	66,57 \pm 5,91 ^{D,E; b}	83,81 \pm 7,65 ^{B; c}	102,61 \pm 9,76 ^{B; d}
Şubat	60	44,40 \pm 5,01 ^{F; a}	57,09 \pm 6,20 ^{E,F; b}	66,22 \pm 7,33 ^{C; b,c}	72,28 \pm 7,12 ^{C; c}
Mart	60	71,88 \pm 9,69 ^{B; a}	84,72 \pm 7,95 ^{B; a,b}	90,24 \pm 10,18 ^{B; b}	95,58 \pm 9,37 ^{B; b}
Nisan	60	87,79 \pm 9,63 ^{A; a}	121,51 \pm 12,38 ^{A; b}	151,83 \pm 18,09 ^{A; c}	162,09 \pm 16,23 ^{A; c}
Mayıs	60	86,92 \pm 7,11 ^{A; a}	117,53 \pm 9,86 ^{A; b}	145,63 \pm 14,45 ^{A; c}	154,70 \pm 13,21 ^{A; c}
Haziran	60	82,75 \pm 6,59 ^{A,B; a}	106,99 \pm 13,02 ^{A; b}	138,81 \pm 12,76 ^{A; c}	144,97 \pm 11,74 ^{A; c}

Tablo 5. Kontrol ve deneme grubu yemleri ile beslenen kerevitlerin gonad dokusunda ARE aktivitesindeki zamana bağlı değişimler (Ortalama \pm standart sapma, U/mg)

Table 5 Time-dependent changes in ARE activity in gonad tissues of crayfish fed the control and experimental group feeds (mean \pm standard deviation, U/mg)

Aylar	N	Deneme Grupları			
		K	D1	D2	D3
Eylül	60	32,78 \pm 2,99 ^{D; a}	31,73 \pm 4,78 ^{E; a}	31,97 \pm 3,01 ^{F; a}	33,28 \pm 4,20 ^{F; a}
Ekim	60	30,27 \pm 5,33 ^{D; a}	32,39 \pm 3,17 ^{E; a}	35,31 \pm 4,39 ^{F; a,b}	39,88 \pm 4,24 ^{E; b}
Kasım	60	42,08 \pm 4,16 ^{A,B; a}	73,20 \pm 8,97 ^{A,B; b}	103,04 \pm 11,36 ^{A; c}	122,42 \pm 10,62 ^{A; d}
Aralık	60	42,43 \pm 4,13 ^{A,B; a}	71,83 \pm 9,22 ^{A,B; b}	79,88 \pm 7,08 ^{B,C; b}	98,80 \pm 9,40 ^{B; c}
Ocak	60	40,52 \pm 5,62 ^{A,B; a}	58,75 \pm 5,38 ^{C; b}	66,36 \pm 8,69 ^{D,E; b}	81,61 \pm 8,86 ^{C; c}
Şubat	60	34,03 \pm 3,93 ^{C,D; a}	43,92 \pm 6,57 ^{D; b}	56,41 \pm 7,41 ^{E; c}	61,57 \pm 6,20 ^{D; c}
Mart	60	39,76 \pm 4,41 ^{B,C; a}	63,39 \pm 7,77 ^{B,C; b}	75,67 \pm 7,08 ^{C,D; c}	97,81 \pm 10,23 ^{B; d}
Nisan	60	41,92 \pm 4,39 ^{A,B; a}	58,84 \pm 8,91 ^{C; b}	71,60 \pm 8,89 ^{C,D; c}	86,85 \pm 9,17 ^{C; d}
Mayıs	60	44,78 \pm 6,35 ^{A,B; a}	78,61 \pm 9,05 ^{A; b}	93,64 \pm 11,24 ^{A,B; c}	119,65 \pm 14,66 ^{A; d}
Haziran	60	47,48 \pm 5,22 ^{A; a}	77,97 \pm 6,31 ^{A; b}	91,37 \pm 10,02 ^{A,B; b}	112,20 \pm 9,97 ^{A,B; c}

Son yıllarda insan ve ratlar üzerine yapılan çalışmalarda PON düzeyi ile oksidatif stres arasında karşılıklı bir ilişki olduğu ileri sürülmüş fakat bu mekanizma tam olarak aydınlatılamamıştır (Aviram ve ark., 1999). Bu çalışmada da özellikle çiftleşme ve üreme dönemi ile birinci devre yavruların oluştuğu aylarda dokulardaki PON ve ARE enzim aktivitelerinin düştüğu, bu düşüşün selenyumun artan dozu ile engellendiği belirlendi. Düşük dozda selenyum verilen kerevitlerin incelenen dokularında tespit edilen PON ve ARE enzim aktivitesindeki düşüşün nedeni oksidatif strese bağlanabilir. Fakat artan selenyum düzeyi ile bu enzim aktivitelerinin yükselmesi selenyumun antioksidan özelliği ile açıklanabilir.

Teşekkür

Bu çalışma “Kerevitin Rasyonlarına İlave Edilen Selenyumun Pleopodal Yumurta ve Birinci Devre Yavru Sayısı ile Oksidatif Stres ve Bazı Antioksidan Enzimler Üzerine Etkilerinin Araştırılması” başlıklı doktora tez çalışmasının bir bölümünden özetlenmiş ve Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) tarafından 1628 nolu proje olarak desteklenmiştir.

References

Ackefors H, Castell JD, Boston LD, Raty P, Svensson M. 1992. Standart Experimental Diets for Crustacean Nutrition Research. II. Growth and Survival of Juvenile Crayfish *Astacus astacus* (Linne) Fed Diets Containing Various Amounts of Protein, Carbohydrate and Lipid. *Aquaculture*, 104: 341-356. DOI: 10.1016/0044-8486(92)90215-7.

Ackefors H. 2000. Freshwater crayfish farming technology in the 1990s: a European and global perspective. *Fish Fisheries*. 1: 337-359. 10.1046/j.1467-2979.2000.00023.x

Altınok I, Capkın E, Boran H. 2012. Mutagenic, genotoxic and enzyme inhibitory effects of carbosulfan in rainbow trout *Orconhynchus mykiss*. *Pestic. Biochem. Phys.*, 102: 61-67. DOI: 10.1016/j.pestbp.2011.10.011.

Aviram, M, Rosenbalt M, Billecke S, Erođul J, Sorenson R, Bisgaier CL, Newton RS, La Du, B. 1999. Human serum paraoxonase (pon 1) is inactivated by oxidized low density lipoprotein and preserved by antioxidants. *Free Radical Bio. Med.*, 26: 892-904.

Başkol G., Köse K. 2004. Paraoksonaz: Biyokimyasal özellikleri, fonksiyonları ve klinik önemi. *Erciyes Tıp Dergisi*, 26 (2): 75-80.

Bastos VLFC, Folly E, Rossini A, Ceccarelli PS, Senhorini JC, Bastos JC. 1998a. Paraoxonase activity in liver of Pacu, *Piaractus mesopotamicus* Holmberg (Characidae). *Rev Bras. Zool.*, 15(5): 677-685.

Beyaztaş S, Türker D, Sinan S., Arslan O. 2007. *Cyprinus carpio* paraoksonaz enziminin bazı ağır metallerle inhibisyon etkisinin incelenmesi, 21. Ulusal Kimya Kongresi, 23-27 Ağustos, Malatya.

Celada JD, Carral JM, Gaudio VR, Temino C., Fernandez R. 1989. Response of Juvenile Freshwater Crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) to Several Fresh and Artificially Compounded Diets. *Aquaculture*, 76: 67-78. DOI: 10.1016/0044-8486(89)90252-4.

Dörr AJM, Pacini N, Abete MC, Prearo M., Elia AC. 2008. Effects of a Selenium-Enriched Diet on Antioxidant Response in Adult Crayfish (*Procambarus clarkii*). *Chemosphere*, 73: 1090-1095. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2008.07.054.

Dubravka J, Milena T, Branka R, Vrea SR, Elsa R, Martin B. 2001. Serum paraoxonase activities in the hemodialyzed uremic patients: Chort study. *Clin. Sci.*, 42: 146-150.

Durrington PN, Mackness B, Mackness MI. 2001. Paraoxonase and atherosclerosis. *Arterioscl. Throm. Vas.*, 21: 473-480.

Elia AC, Dörr AJM, Prearo M, Abete MC. 2007. Detoxification enzymes of freshwater crayfish *Procambarus clarkii* fed a diet enriched in selenium: Preliminary results. *Mar. Fresh. Behav.Phys.*, 40(3): 195-199.

Folly E, Bastos VLC, Alves MV, Bastos JC, Atella GC. 2001. A high density lipoprotein from *Piaractus mesopotamicus*, pacu, (Osteichthyes, Characidae), is associated with paraoxonase activity. *Biochimie*, 83: 945-951. DOI: 10.1016/S0300-9084(01)01342-6.

Gürsu MF, Özđin M. 2002. Sigara içenlerde serum paraoksonaz (PON1) aktiviteleri ile malondialdehit düzeylerinin araştırılması. *Fırat Tıp Dergisi*, 7: 732-737.

Harlıođlu MM. 2008. The harvest of the freshwater crayfish *Astacus leptodactylus* Eschscholtz in Turkey: harvest history, impact of crayfish plague, and present distribution of harvested populations. *Aquacult. Int.*, 16: 351-360. DOI: 10.1007/s10499-007-9145-7.

Haşımoğlu S. Aksoy A. 1977. Rasyon Hazırlama Metotları ve Yemleme Prensipleri. Erzurum: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Holdich DM. 1993. A review of astaciculture freshwater crayfish farming. *Aquat. Liv. Res.*, 6 (3): 307-317.

Karataş T., Kocaman EM. 2012. Comparison of Paraoxonase Activity, Malondialdehyde and High-Density Lipoprotein Levels in Cultivated Normal and Albino Rainbow Trout Reared in the Same Conditions. *Kafkas Uni. Vet. Fak.*, 18(1): 87-90. DOI: 10.9775/kvfd.2011.4971.

Köksal G. 1988. *Astacus leptodactylus* in Europe, in *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*, pp. 365-400, Eds. Holdich, D.M. and Lowery, R., Chapman and Hall, London.

Mackness MI, Walker CH, Carson LA. 1987. Low 'A'-esterase activity in serum of patients with fish-eye disease *Clin. Chem.* 3: 587-588.

Mackness MI, Mackness B, Durrington PN, Connely PW, Hegele RA. 1996. Paraoxonase: biochemistry, genetics and relationship to plasma lipoproteins. *Curr. Opin. Lipid.*, 7: 69-76.

Mackness MI, Arrol SI, Mackness B, Durrington PN. 1997. Allo-enzymes of paraoxonase and effectiveness of high density lipoproteins in protecting low density lipoprotein against lipid peroxidation. *Lancet*, 349: 851-852.

Miyamoto T, Takahashi Y, Oohashi T, Sato K, Oikawa S. 2005. Bovine Paraoxonase 1 activities in serum and distribution in lipoproteins. *J. Vet. Med. Sci.*, 67 (3): 243-248.

New MB. 1976. A review of dietary studies with shrimp and Prawns. *Aquaculture*, 9: 101-144. DOI: 10.1016/0044-8486(76)90055-7.

New MB. 1987. Feed and Feding of Fish and Shrimp. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Italy.

Özkan Y, Koca SS, Gürsu F, Sonkaya E, Poyrazođlu OK, Dönder E. 2004. Hiperlipitemik hastalarda atorvastatin tedavisinin serum paraoksonaz-1 düzeyine etkisi. *Fırat Tıp Dergisi*, 9 (4): 123-126.

Ravi F, Brenton K, Louis E. 1999. Effect of a Diet Supplemented with Cod Liver Oil and Sunflower Oil on Growth, Survival and Condition Indices of Juvenile *Cherax tenuimanus* (Smith). *Freshw. Crayfish*, 12: 478-493.

Reigh RC, Braden SL, Craig RJ. 1990. Apparent Digestibility Coefficients for Common Feedstuff in Formulated Diets for red Swamp Crayfish, *Procambarus clarkii*. *Aquaculture*, 84: 321-324. DOI: 10.1016/0044-8486(90)90097-7.

- Turk R, Juretic D, Geres D, Turk N, Reke B, Simeon-Rudolf V, Svetina A. 2004. Serum paraoxonase activity and lipid parameters in the early postpartum period of dairy cows. Res. Vet. Sci., 76: 57-61.
- Wang Y, Han J, Li W, Xu, Z. 2007. Effect of different selenium source on growth performances, glutathione peroxidase activities, muscle composition and selenium concentration of allogynogenetic crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). Anim. Feed Sci. Tech., 134: 243-251. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2006.12.007.
- Yonar ME. 2008. *Yersinia ruckeri* ile enfekte edilen gökkuşuğı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*)'nın tedavisinde propolisin kullanılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yonar ME, Mişe Yonar S, Çoban MZ, Erođlu M. 2012. The Effect of Propolis on Serum Paraoxonase and Arylesterase Enzyme Activies in *Cyprinus carpio* During Chromium Exposure. Fresen. Environ. Bull., 21(6): 1399-1402.