



Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi

Turkish Journal of Scientific Reviews

E-ISSN: 2146-0132, 12 (1): 01-04, 2019

Sucul Ekosistemde Mikro ve Nanoplastikler

Derya Kocamaz

Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Adana, Türkiye

*Corresponding Author

E-mail: dkocamaz@cu.edu.tr

Geliş Tarihi: 17 Aralık 2018

Kabul Tarihi: 15 Ağustos 2019

ÖZET

Plastik üretimindeki hızlı ve istikrarlı artış dünya genelinde plastik kirliliğinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yapılan çalışmalarda büyük boyutlu plastiklerin organizmalar üzerindeki fizyolojik etki mekanizmaları araştırılırken, mikro/nano boyutlu plastiklerin sucul organizmalar üzerindeki toksik etki mekanizmaları hala tam olarak aydınlatılamamıştır. Mikro/nano plastiklerin sucul organizmaların bağırsaklarından dolaşım sistemine girme eğilimi gösterdiği, kan-beyin bariyerine nüfuz ettiği ve davranış bozukluklarını tetiklediği bildirilmektedir. Bu bulgular daha geniş perspektifte değerlendirildiğinde mikro/nano plastik kontamine deniz ürünlerinin besin zinciri aracılığıyla insanlarda da mikro/nano plastik alım/birikimine neden olabileceği ve davranış bozukluklarını indükleyeceği düşünülmektedir. Bu nedenle bu derlemede mikro ve nanoplastiklerin organizmalar üzerindeki etki mekanizmaları incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: İnsan Sağlığı, Mikroplastik, Nanoplastik, Sucul Organizmalar

Micro and Nanoplastics in Aquatic Ecosystem

ABSTRACT

The rapid and steady increases in production of plastics have led to plastic pollution in the world. Previous studies have investigated that the physiological effects of large-sized plastics on organisms whereas the toxic effects of micro/nanoplastics on organisms is not fully understand. Also, studies reported that micro/nanoplastics have the propensity to translocate from the gut to the circulatory system, penetrate the blood to brain barrier and cause behavioral disorders. In a broader perspective, the consumption of micro/nanoplastic contaminated seafood through a food chain may cause to the intake/accumulation of micro/nanoplastics in human and induce behavioral disorders. Therefore, the action mechanism of micro/nanoplastics on organisms will be evaluated with this review.

Keywords: Human Health, Microplastic, Nanoplastic, Aquatic Organisms

GİRİŞ

Günümüzde plastik ürünler sağlık, inşaat, tekstil ve enerji gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Son on yılda küresel plastik üretimi önemli derecede artmış, 2017 yılında toplam plastik üretimi 348 milyon tona ulaşmıştır [1]. Plastiklerle ilgili en endişe verici çevre sorunlarından bir tanesi üretilen plastiklerin yaklaşık olarak %10'unun kanalizasyon arıtma tesisleri, atık su işleme ya da havada depolama aracılığıyla okyanuslarda sonlanması ve plastiklerin toplam deniz çöpünün %60-80'ini oluşturmasıdır [2]. Plastikler sentetik organik polimerlerdir. Çoğunluğu polietilen (yüksek ve düşük yoğunluklu), polistiren, polipropilen, polivinil klorid, poliüretan ve polietilen tereftelattır [3]. Degradasyon foto/termal-oksidasyon, hidroliz ya da mikrobiyal aktivite aracılı biodegradasyon yoluyla sentetik organik polimerlerin mekanik bütünlüğü bozulmakta ve büyük ölçüde degrade plastikler mikro boyutlarda çıplak gözle görülemeyecek parçacıklara ayrılmaktadır [4]. Son yıllarda, sucul ekosistemlerde boyutu 5 mm'den daha küçük parçacıklar olarak tanımlanan ve mikroplastik adı verilen plastik atıkların varlığı bildirilmiştir [5]. Mikroplastikler insan aktivitesi sonucu küçük plastik parçacıkların doğrudan çevreye salınması ile (primer mikroplastikler) ya da büyük plastiklerin parçalanması (sekonder mikroplastikler) sonucu

oluşmaktadır [6]. Benzer şekilde boyutları 1-100 nm arasında değişen ve nanoplastik olarak adlandırılan plastik parçacıklarda mikroplastiklerin degradasyonu aracılığıyla ya da doğrudan evsel ve endüstriyel kaynaklardan çevreye salınmaktadır [7]. Mikro/nanoplastikler günümüzde havada, suda ve sedimentte, karasal ve sucul organizmaların yapısında kısaca çevrede her yerde bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda deniz sularında belirlenen mikroplastik konsantrasyonu Kuzey Denizi'nde maksimum 0.04-0.05 partikül/m³, Kuzeybatı Atlantik'te 20.328 partikül/km², Kuzeydoğu Atlantik'te 0.01-0.32 cm³/m³, Akdeniz'de ortalama 0.116 partikül/m², Kuzeydoğu Pasifik'te 31.982-969.777 partikül/km², Kuzeybatı Pasifik'te ortalama 174.000 partikül/km² olarak bildirilmiştir [8]. Ülkemiz sularında belirlenen mikroplastik konsantrasyonu ise İskenderun Körfezinde 2.888.889 partikül/km², Güney Karadeniz'de 2.667±2.325 partikül/m³, Datça'da 1154.4 ±700.3 -2073.3±648.6 partikül/kg kuru ağırlık olarak raporlanmıştır [9, 10, 11]. Fakat ne yazık ki nanoplastiklerin tespit yöntemlerine ilişkin tekniklerin yetersiz olmasından dolayı bugüne kadar sucul çevrede nanoplastik konsantrasyonu ile ilgili bulgu elde edilememiştir [12].

Önceki çalışmalarda mikro/nanoplastik kontaminasyonuna maruz kalan sucul organizmaların vücutlarında plastik

parçacıklar tespit edilmiş, sucul organizmaların ağız ya da solungaç yolu ile plastik parçacıkları sindirim sistemlerine aldıkları belirlenmiştir. Türkiye'nin Akdeniz kıyılarında 1377 balığın mide ve bağırsak dokusundan %70'i fiber, %20.8'i sert plastik olmak üzere 1822 mikropplastik partikül çıkarılmıştır [13]. Norveç'te yapılan bir çalışmada Atlantik morina'nın (*Godus morhua*) midesinde %3 oranında mikropplastik belirlenmiştir [14]. Çin'de kıyı ve tatlı su balıklarında (26 farklı balık türünde) yapılan çalışmada %55.9-92.3 oranında mikropplastik tespit edilmiştir [15]. Almanya'da midyelerde 0.36 partikül/g, Fransa, Belçika ve Hollanda da ise 0.2 partikül/g mikropplastik bulunmuştur [16]. Sucul organizmalar tarafından alınan/yutulmuş ve dolaşıma katılan mikro/nanoplastikler lethale etkilerin yanı sıra göç ve hareket kabiliyetinin bozulması, vücut ağırlığında azalma, açlık hissini kaybetme, yiyecek yakalama ve sindiriminde azalma gibi sublethal etkilere de neden olabilmektedir [17]. Transkripsiyonel ve moleküler tekniklerdeki gelişmeler sayesinde sucul organizmalardaki mikro/nanoplastiklerin sublethal etkileri ile ilgili hücresel ve moleküler mekanizmaların araştırılması kolaylaşmıştır. Sussarellu ve ark. [18] tarafından yapılan çalışmada sucul organizma *Crassostrea gigas*'da ilk defa mikropplastiklerin tüm transkriptomik etkileri ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışma ile üreme döngüsü süresince 2-6 µm mikropplastik kontaminasyonuna maruz kalan istiridyelerin enerjilerini organizmanın korunmasına ve yapısal büyümesine harcadığı ve bu enerji dağılımındaki değişikliğin üreme bozukluklarına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca istiridyelerin yumurta çapı/sayısında ve sperm hızında önemli düşüşler olduğu ve yavru gelişiminin ise kontrole göre önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Total enerji rezervindeki dengesizlikler 4 hafta süresince mikropplastik maruziyetine bırakılan *Ennucula tenuis*'da da Bour ve ark. [19] tarafından belirlenmiştir. Wang ve ark. [20] mikropplastiklerin *Oryzias melastigma*'nın solungaç, bağırsak ve karaciğer dokularında biriktiğini, dokularda yapısal hasara neden olduğunu, balıkların cinsiyete bağlı olarak üreme davranışlarında bozuklara yol açtığını, dişilerde steroidogenezis yolunda yer alan genlerin transkripsiyonunu down-regüle ettiğini ve yavruların gelişimini geciktirdiğini bildirmişlerdir. Mikropplastik maruziyetine benzer şekilde nanoplastik maruziyetinin de sucul organizmaların üreme davranışlarını olumsuz etkilediği ve yavru gelişimindeki anomalilikleri arttırdığı gösterilmiştir [21].

Mikro/nanoplastiklerin bağışıklık sistemi üzerindeki etkileri incelendiğinde; Tang ve ark. [22] mikropplastik maruziyetinin sucul organizmalarda immün sistemi baskıladığını, stresle ilişkili genlerin transkripsiyonunu up-regüle ettiğini bildirmişlerdir. Çipuralarla (*Sparus aurata*) yapılan çalışmada mikropplastiklerin balıklar tarafından stresör olarak algılandığı, mikropplastiklerin balıklarda bağışıklık sistemi aktivasyonunu önemli derecede etkilediği ve yüksek konsantrasyonlu mikropplastik maruziyetinin kronik stresi indükleyerek balık fizyolojisini olumsuz etkilediği belirtilmiştir [23]. Polistiren ve polikarbon nanoplastik maruziyetinin ise *Pimephales promelas*'ın nötrofil fonksiyonlarını aktive ettiği, oksidatif stresi arttırdığı, balıkların savunma mekanizmalarında ve bağışıklık sistemlerinde değişikliklere neden olduğu gösterilmiştir [24].

Mikro/nanoplastik maruziyetinin sucul organizmalarda davranışsal değişikliklere ve nörotoksitiye neden olduğu ile ilgili veriler de mevcuttur. Mikropplastik maruziyetinin *Sebastes schlegelii*'de yiyecek arama süresini azalttığı,

Symphysodon aequifasciatus'da ise avcılık performansında düşüşlere neden olduğu bildirilmiştir [25, 26]. Benzer şekilde polistiren nanoplastiklerin *Carassius carassius*'da metabolizma ve avlanma davranışları üzerinde ciddi değişikliklere sebep olduğu gösterilmiştir [27]. Sucul organizmalardaki davranışsal değişikliklerin mikro/nanoplastiklerin organizmanın sindirim sürecini veya sinir sisteminin normal fonksiyonunu bozmasından ya da solunum stresini indüklemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca mikropplastiklerin sucul organizmalarda nöral fonksiyon, nöronal farklılaşma, aksonojenezis ve görme ile ilişkili genlerin transkripsiyonunu down-regüle ettiği, asetilkolinesteraz inhibisyonuna neden olduğu ve beyin dokusunda lipid peroksidasyonunu indüklediği ile ilgili çalışmalar da mevcuttur [28, 29]. Nanoplastik maruziyetinin ise *Danio rerio*'da merkezi sinir sistemindeki miyelin temelli protein genlerini up-regüle ettiği, asetilkolinesteraz aktivitesini önemli derecede azalttığı, merkezi sinir sistemi ve dopaminerjik sistemde nörotoksik etkileri arttırdığı bildirilmiştir [30].

Mikro/nanoplastiklerin sucul organizmaların antioksidan savunma/oksidatif stres üzerindeki toksik etkileri incelendiğinde; nanoplastiklerin hücre zarlarından daha kolay geçtiği ve bu nedenle mikropplastiklerle karşılaştırıldığında reaktif oksijen türleri üretimini ve oksidatif stresi daha güçlü indükledikleri, oksidatif stres sinyallerindeki genlerin fosforilasyonunu arttırdıkları bulunmuştur [31]. Ding ve ark. [32] tarafından yapılan çalışmada mikropplastiklerin *Oreochromis niloticus*'da EROD aktivitesini indüklediği, antioksidan enzim süperoksit dismutazın aktivitesini arttırdığı bildirilmiştir. Bunun yanı sıra nanoplastik maruziyetinin *Mytilus galloprovincialis*'de total antioksidan kapasiteyi arttırdığı fakat antioksidan savunma sisteminin oksidatif stresle mücadelede yetersiz kaldığı ve dokularda oksidatif hasarla oluştuğu bildirilmiştir [33]. Benzer sonuçlar farklı araştırmacılar tarafından da raporlanmıştır [34, 35, 36]. Plastik partiküllerin insanlar tarafından alınması karasal/sucul gıda ürünlerinin tüketilmesi, içme suyu veya inhalasyon yoluyla olmaktadır [37]. Deniz ürünleri insanların besin aracılığıyla en önemli kirletici kaynağı olmasına rağmen, deniz ürünlerindeki mikropplastiklerin oluşumu/birikimi ile ilgili şu ana kadar resmi ölçüm ya da düzenleme yapılmamıştır. Sucul organizmaların mikro/nanoplastikler ile kontaminasyonu doğal avlanma esnasında, buldukları ortamdan yüzeye bağlanma ya da paketlenme/işleme esnasında gerçekleşebilir [7]. Mikro/nanoplastiklerin sucul organizmaların sindirim sistemlerinden dolaşıma katılabildikleri, hücre membranı, kan-beyin bariyeri ve plesantadan geçerek çeşitli fizyolojik, nörolojik ve davranışsal değişikliklere neden oldukları önceki çalışmalarda bildirilmiştir [37, 38, 39]. Ayrıca ratlarda ve insanlarda yapılan medikal çalışmalarda da 150 µm'den daha küçük plastik partiküllerin bağırsak boşluğundan lenf ve dolaşım sistemine geçiş yapabildiği gösterilmiş olmasına rağmen deniz mahsüllerinde mikro/nanoplastik miktarlarıyla ilgili kesin ve net veriler olmaması insanlar tarafından tüketilen deniz ürünlerinin risk değerlendirmesinin yapılmasını zorlaştırmaktadır [40].

SONUÇ

Her ne kadar günümüzde mikro/nanoplastik kontamine deniz ürünleri tüketiminin insan sağlığı üzerindeki etkileri göz ardı edilse de, bu ürünlerin mikro/nanoplastik kontamine diğer gıda ürünleri ile birlikte tüketiminin ne gibi zararlara

yol açacağı bilinmemektedir. Mikro/nanoplastiklerin insanlarda da sucul organizmalara benzer şekilde davranışsal ve fizyolojik değişikliklere yol açabileceği gerçeği göz önünde bulundurularak, araştırmaların sucul organizmaların mikro/nanoplastik biyoakümüülasyon faktörleri ve trofik etkileşimleri üzerine odaklanması insanlar tarafından hangi deniz ürünlerinin güvenli bir şekilde tüketilmesi ya da tüketilmemesinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Ayrıca sucul çevrede miktarı giderek artan mikro/nanoplastiklerin insan sağlığı üzerindeki gerçek etkilerinin ortaya çıkarılması için daha kapsamlı araştırmalara gereksinim duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Plastics Europe: Plastics- the facts 2018; an analysis of European plastics production, demand and waste data. 60 pp.
- [2] Mattsson, K., Johnson, E.V., Malmendal, A., Linse, S., Hansson, L.A., Cedervall, T. 2017. Brain damage and behavioural disorders in fish induced by plastic nanoparticles delivered through the food chain. *Sci Rep*, 7: 11452.
- [3] Revel, M., Châtel, A., Mouneyrac, C. 2018. Micro(nano)plastics: a threat to human health?. *Curr Opin Env Sci Health*, 1: 17-23.
- [4] Andrury, A.L. 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull*, 62: 1596-1605.
- [5] Hernandez, L.M., Yousefi, N., Tufenkji, N. 2017. Are these nanoplastics in your personel care products? *Environ Sci Technol Lett*, 4: 280-285.
- [6] Weinstein, J.E., Crocker, B.K., Gray, A.D. 2016. From macroplastic to microplastic: degradation of high-density polyethylene, polypropylene, and polystyrene in a salt marsh habitat. *Environ Toxicol Chem*, 35: 1632-1640.
- [7] EFSA, 2016. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. EFSA J, 14: 4501.
- [8] GESAMP, 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 pp.
- [9] Gündoğdu, S. 2017. High level of micro-plastic pollution in the Iskenderun Bay NE Levantine coast of Turkey. *EgeJFAS*, 43: 401-408.
- [10] Oztekin A., Bat, L. 2017. Microlitter pollution in sea water : a preliminary study from Sinop Sarikum coast of the southern Black Sea. *TRJFAS*, 17: 1431-1440.
- [11] Yabanlı, M. Yozukmaz, A., Şener, İ., Ölmez, O.T., 2019. Microplastic pollution at the intersection of the Aegean and Mediterranean Seas: a study of the Datca Peninsula (Turkey). *Mar Pollut Bull*, 145: 47-55.
- [12] Koelmans, A.A., Besseling, E., Shim, W.J. 2015. Nanoplastics in the aquatic environment. Critical review. *Marine Anthropogenic Litter*, 325-340.
- [13] Guven, O, Gokdag, K., Javanović, B., Kıdeys, A.E. 2017. Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environ Pollut*, 223: 286-294.
- [14] Bråte, I.L.N., Eidsvoll, D.P., Steindal, C.C., Thomas, K.V. 2016. Plastic ingestion by Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the Norwegian coast. *Mar Pollut Bull*, 112: 105-110.
- [15] Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., Shi, H. 2017. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environ Pollut*, 221: 141-149.
- [16] Cauwenbergh, L.V., Janssen, C.R. 2014. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environ Pollut*, 193: 65-70.
- [17] Allsopp, M., Walters, A., Santillo, D., Johnston, P. 2006. Plastic debris in the World's oceans. Greenpeace, Netherlands, 44 pp.
- [18] Sussarelu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M.E.J., Coic, N.L., Quillien, V., Mingant, C., Epelboin, Y., Corporeau, C., Guyomarch, J., Robbens, J., Paul-Pont, I., Soudant, P., Huvet, A. 2016. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proc Natl Acad Sci*, 113: 2430-2435.
- [19] Bour, A., Haarr, A., Keiter, S., Hylland, K. 2018. Environmentally relevant microplastic exposure affects sediment-dwelling bivalves. *Environ Pollut*, 236: 6562-660.
- [20] Wang, J., Li, Y., Lu, L., Zheng, M., Zhang, X., Tian, H., Wang, W., Ru, S. 2019. Polystyrene microplastics cause tissue damages, sex-specific reproductive disruption and transgenerational effects in medaka (*Oryzias melastigma*). *Environ Pollut*, 113024.
- [21] Besseling, E., Wang, B., Lüring, M., Koelmans, A.A. 2014. Nanoplastic affects growth of *S. obliquus* and reproduction of *D. magna*. *Environ Sci Technol*, 48: 12336-12343.
- [22] Tang, J., Ni, X., Zhou, Z., Wang, L., Lin, S. 2018. Acute microplastic exposure raises stress response and suppresses detoxification and immune capacities in the scleractinian coral *Pocillopora damicornis*. *Environ Pollut*, 243: 66-74.
- [23] Espinosa, C., Cuesta, A., Esteban, M.A. 2017. Effects of dietary polyvinylchloride microparticles on general health, immune status and expression of several genes related to stress in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) Fish Shellfish Immun, 68: 251-259.
- [24] Greven, A.C., Merk, T., Karagöz, T., Mohr, K., Klapper, M., Jovanović, B., Palić, D. 2016. Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (*Pimaphales promelas*). *Environ Toxicol Chem*, 35: 3093-3100.
- [25] Yin, L., Chen, B., Xia, B., Shi, X., Qu, K. 2018. Polystyrene microplastics alter the behavior, energy reserve and nutritional composition of marine jacobever (*Sebastes schlegelii*). *J Hazard Mater*, 360: 97-105.
- [26] Wen, B., Zhang, N., Jin, S.R., Chen, Z.Z., Gao, J.Z., Liu, Y., Liu, H.P., Xu, Z. 2018. Microplastics have a more profound impact than elevated temperatures on the predatory performance, digestion and energy metabolism of an Amazonian cichlid. *Aquat Toxicol*, 195: 67-76.
- [27] Mattsson, K., Ekvall, M.T., Hansson, L.A., Malmendal, A., Cedervall, T. 2015. Altered behavior, physiology, and metabolism in fish exposed to polystyrene nanoparticles. *Environ Sci Technol*, 49: 553-561.
- [28] LeMoine, C.M.R., Kelleher, B.M., Lagarde, R., Northam, C., Elebute, O.O., Cassone, B.J. 2018. Transcriptional effects of polyethylene microplastics ingestion in developing zebrafish (*Danio rerio*). *Environ Pollut*, 243: 591-600.
- [29] Barboza, L.G.A., Vieira, L.R., Branco V., Figueiredo, N., Carvalho, F., Carvalho, C., Guilhermino, L. 2018. Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy-related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758). *Aquat Toxicol*, 195: 49-57.
- [30] Chen, Q., Yin, D., Jia, Y., Schiwy, S., Legradi, J., Yang, S., Hollert, H. 2017. Enhanced uptake of BPA in

the presence of nanoplastics can lead to neurotoxic effects in adult zebrafish. *Sci Total Environ*, 609: 1312-1321.

[31] Jeong, C.B., Kang, H.M., Lee, M.C., Kim, D.H., Han, J., Hwang, D.S., Souissi, S., Lee, S.J., Shin, K.H., Park, H.G., Lee, J.S. 2017. Adverse effects of microplastics and oxidative stress-induced MAPK/Nrf2 pathway-mediated defense mechanisms in the marine copepod *Paracyclopsina nana*. *Sci Rep*,7: 41323.

[32] Ding, J., Zhang, S., Razanajatovo, M., Zou, H., Zhu, W. 2018. Accumulation tissue distribution, and biochemical effects of polystyrene microplastics in the freshwater fish red tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Environ Pollut*, 238: 1-9.

[33] Brandts, I., Teles, M., Gonçalves, A.P., Barreto, A., Franco-Martinez, L., TvariJonaviciute, A., Martins, M.A., Soares, A.M.V.M., tort, L., Oliveira, M. 2018. Effects of nanoplastics on *Mytilus galloprovincialis* after individual and combined exposure with carbamazepine. *Sci Total Environ*, 643: 775-784.

[34] Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J., Ding, L., Ren, H. 2016. Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver. *Environ Sci Technol*, 50: 4054-4060.

[35] Choi, J.S., Jung, Y.J., Hong, N.H., Hong, S.H., Park, J.W. 2018. Toxicological effects of irregularly shaped and spherical microplastics in a marine teleost, the sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*). *Mar Pollut Bull*, 129: 231-240.

[36] Magni, S., Gagné, F., André, C., Della Torre, C., Auclair, J., Hanana, H., Parenti, C.C., Bonasoro, F., Binelli, A. 2018. Evaluation of uptake and chronic toxicity of virgin polystyrene microbeads in freshwater zebra mussel *Dreissena polymorpha* (Mollusca: Bivalvia). *Sci Total Environ*, 631: 778-788.

[37] Vethaak, A.D., Leslie, H.A. 2016. Plastic debris is a human health issue. *Environ Sci Technol*, 50: 6825-6826.

[38] Browne, M.A., Dissanayake, A., Galloway, T.S., Lowe, D.M., Thompson, R.C. 2008. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* L. *Environ Sci Technol*, 42: 5026-5031.

[39] Nelms, S.E., Galloway, T.S., Godley, B.J., Jarvis, D.S., Lindeque, P.K. 2018. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environ Pollut*. 238: 999-1007.

[40] Carbery, M., O'Connor, W., Thavamani, P. 2018. Trophic transfer of microplastic and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environ Int*, 115: 400-409.