



Оценка на риска от микропластмаси, приети с храната от различни видове животни (Научен обзор)

1. Резюме

Микропластмасите са част от антропогенните отпадъци, които са повсеместно разпространени и се превръщат в проблем от световно значение.

Микропласовите частици са едновременно разнообразни и недобре дефинирани. Заедно с високата вероятност от поглъщане и абсорбиране от голям брой видове организми, това разнообразие в множество измерения допринася за факта, че микропластмасата може да представлява риск за околната среда, животните и хората и е възможно да причини дългосрочен негативен ефект за екосистемите.

Оценката на рисковете от микропластмаси (МП) за различни видове организми е предизвикателство, тъй като трябва да бъдат разгледани различните механизми за едновременно въздействие, като същевременно се отчита и многоизмерността на частиците. Подобряване на методите за оценка на риска от микропластмаса ще позволи да се определи по-добре времевата рамка за тези рискове, защото рисковете на този етап не изглеждат широко разпространени, но повечето учени са съгласни, че въпросът не е дали, а по-скоро кога рисковете за околната среда и човешкото здраве, свързани с частиците от микропластмаса ще станат очевидни.

През последното десетилетие са положени усилия за количествено определяне на настоящата експозиция на микропластмаси в околната среда и оценяване на въздействието им върху множество организми. Проведените проучвания не водят до изчерпателен набор от данни за оценка на рисковете от МП за различните видове животни, а по-скоро служат за сигнализиране на това къде са заложили рискове и в кои посоки са необходими бъдещи изследвания.

Микропластмасите постепенно завладяват територии, превръщат се в заместител на земя, почва, вода, жизнена среда за обитание, навлизат в телата на малки и големи организми, присъстват в хранителната верига на човека и животните, циркулират в кръвообращението. Въпросът е, ще останат ли хората пасивни наблюдатели на непредвидимите ефекти от „нашественика“ - микропластмаса, или ще се опитат да променят навиците и поведението си, за да променят настоящата ситуация и да се справят с риска за оцеляването на живите организми в световен мащаб.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56

Risk assessment of microplastics ingested by different animal species (Review)

Abstract

Microplastic particles are part of the anthropogenic waste that is ubiquitous and becoming a problem of global concern.

Microplastic particles are both diverse and ill-defined. Together with the high likelihood of ingestion and absorption by a large number of species of organisms, this diversity in multiple dimensions contributes to the fact, that microplastics can pose risk to the environment, animals and humans and are likely to cause long-term negative effects on ecosystems.

Assessing the risks of microplastics (MPs) to different types of organisms is challenge as different mechanisms of simultaneous effects need to be considered, while also accounting for the multidimensionality of particles. Improving microplastic risk assessment methods will allow a better determination of the time frame for these risks, because the risks do not appear to be widespread at this point, but most scientists agree that the question is not if, but rather when, the environmental and human health risks associated with microplastic particles will become apparent.

Over the last decade, efforts have been made to quantify current exposure to microplastics in the environment and to assess their impact on multiple organisms. The studies conducted do not result in a comprehensive data set for assessing the risks of MP to different species, but rather serve to signal where risks lie and where future research is needed.

Microplastics are gradually conquering territories, becoming a substitute for land, soil, water, living environments, entering the bodies of small and large organisms, present in the food chain of humans and animals, circulating in the bloodstream.

The question is, will people remain passive bystanders to the unpredictable effects of „the invader“ - microplastics, or will they try to change their habits and behaviour to change the facts and address the global risk to the survival of living organisms.

2. Въведение

Пластмасата е достъпна, лека, издръжлива и масово се употребява в ежедневието. Повечето пластмасови продукти са за еднократна употреба, много малка част се рециклират или изгарят и по този начин се натрупва голямо количество отпадъци. Пластмасовите отпадъци са се превърнали в замърсител, който поражда безпокойство и често се обсъжда в обществото, науката, медиите и политиката. Битовите отпадъци, съдържащи пластмаси навлизат в околната среда и крайбрежните води и могат да останат милиони години докато се разградят и в същото време отделят токсични вещества в почвата и водата. Процесите на изветряне водят до раздробяване на пластмасите на микропластмаси, като засягат техните физикохимични свойства. Бавното разлагане на пластмасата води до увеличаване на концентрацията на микропластмаса в околната среда.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



Освобождаването на МП в околната среда и във всички местообитания в света поражда опасения относно потенциалните рискове за флората и фауната. За да се изяснят механизмите на въздействие на микропластмасата, тя трябва да бъде погълната от жив организъм и това е доказано в лабораторни и полеви условия за широк спектър от видове. Поглъщането на микропластмаси от различни видове организми зависи от биодостъпността, която предимно се определя от размера на частиците, специфичните видови характеристики на изложените на въздействие организми, както и условията на околната среда.

Микропластмасите са замърсител на околната среда с уникални свойства, едно от които е несравнимата му сложност. Разнообразието на източници се отразява на разнородността на микропластмасата, като: свойства (форма, размер, плътност и вид на полимера), характеристики на транслокация и разпространение, *in vivo* и *in vitro* биологични ефекти и следователно рисковете от нея. Наличието на замърсители в микропластмасата допринася за тази разнородност.

Натуралните частици (частици с естествен произход) в околната среда също трябва да се вземат предвид, защото те са много по-разпространени от микропластмасите. Повечето организми са добре подготвени да се справят с натуралните частици. Натурални и микропластмасови частици, които споделят сходни характеристики могат да причинят подобни неблагоприятни ефекти, а разликите в свойствата могат да помогнат да се обяснят и разликите в ефектите.

Съществува още по-голяма несигурност по отношение на оценката на риска от микропластмасите поради разнообразието от използвани методи за оценка на експозицията, въздействието и невъзможността те да бъдат сравнявани един с друг. Тези предизвикателства представляват интерес за учените и са разгледани в нарастващ брой публикации (SAPEA, 2019; Kooi, M. & Koelmans, A. A. 2019; Rochman et al., 2019; Besseling et al., 2019; O'Connor et al., 2019; de Ruijter et al., 2020; Kogel et al., 2020; Koelmans et al., 2021).

Целта на този обзор е да представи общ преглед на оценка на риска от микропластмаси, да обобщи резултатите от проучвания, които определят начина на приемане на микропластмаси, експозицията при различни видове и категории животни, последващите ефекти и рисковете, които те представляват за здравето и благосъстоянието на животните.

В заключение са посочени мерките, предприети от Европейската комисия в защита здравето на населението, животните и околната среда, в Европейската стратегия за пластмасите в кръговата икономика¹.

3. Обща оценка на риска от микропластмаси

През 2022 г. екип от холандски учени (Koelmans et al., 2022) са направили преглед на тема: Оценка на риска от микропластмасови частици. В него се посочва, че микропластмасовите частици се срещат навсякъде в околната среда и основният въпрос,

¹ A European Strategy for Plastics in a Circular Economy (SWD(2018) 16 final
<https://ec.europa.eu/environment/pdf/circular-economy/plastics-strategy.pdf>

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



който стои пред учените по отношение на тези частици, е до каква степен те причиняват рисковете за околната среда, животните и човешкото здраве.

3.1. Микропластмаса (МП)

Една фракция от пластмасови отпадъци се нарича микропластмаса, произволно дефинирана като частици, по-малки от 5 mm. Пластмасови частици, по-малки от 0,1 μm или 1 μm , често се наричат нанопластмаси, въпреки че в някои нови проучвания минималният размер на микропластмасите се определя на 1 nm. По-голямата част от микропластмасите се получават от разграждането на по-големи пластмасови отпадъци (Koelmans et al., 2022).

Микропластмасовите частици обикновено се разделят според произхода си на първични и вторични микропластмаси. Първичните микропластмаси са микро частици, умишлено произведени за специфични приложения или продукти, като например пелети за промишлено производство (разпиляване на пелети от въздухоструйни машини за производство на бутилки за напитки) и микрогранули (като тези, използвани в продуктите за лична хигиена, напр. почистващи препарати за лице), които попадат в околната среда. Първичните микропластмаси се генерират като такива и се появяват в околната среда или случайно, или с отпадъчни води (като остатъци от използвана козметика, репеленти против насекоми, слънцезащитни продукти, продукти за деца и др.). Вторичната микропластмаса представлява частици, образувани от фрагментацията и разпадането на по-големи пластмасови отпадъци. В околната среда тези два вида МП в крайна сметка стават почти неразличими в резултат на малкия дял на първичната микропластмаса и ефектите на изветряне и стареене. Въпреки това, разнообразието и сложността на източниците продължава да се отразява в разнообразието на материала, след като той достигне до размера на микропластмасата (Kaur et al., 2023).

3.2. Източници на микропластмаса

Източниците на микропластмаса варират в широки граници, тъй като пластмасите имат широк спектър от приложения и употреби. Ето някои от тях:

- Пластмасите за еднократна употреба са най-големият замърсител на морета, океани, плажове и по целия свят;

- На второ място са автомобилните гуми. Частици от гуми попадат в околната среда от различни източници – автомобилни гуми по пътищата, остатъци от синтетичен каучук от гуми, излезли от употреба автомобилни гуми и т.н.т.

- В автомобилната индустрия търсенето на бакелит се увеличава поради голямото търсене на леки материали за осигуряване на горивна ефективност в автомобилите. Поради повишеното износване и механичен натиск бакелитът бързо се разрушава до микропластмаса (Kaur et al., 2023).

- Всяка минута в света се купуват по един милион пластмасови бутилки и се очаква този брой да нарасне още повече през следващите години, тъй като производството им е евтино и употребата им е масова. Разграждането на пластмасовите бутилки на пластмаса и МП може да доведе до екологична криза, натиск за глобални

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



промени, които представляват световна заплаха за биоразнообразието и човешкото здраве (El-Sherif et al., 2022; Kumar et al., 2021).

- Пандемията от коронавирус също е увеличила натрупването на микропластмаса, тъй като всички защитни средства като маски за лице, щитове за лице и ръкавици са изработени от различни видове пластмаси като полиуретан, полиетилен, полиестер и полипропилен.

- Фрагментирането на текстила по време на пране и последващото изхвърляне в околната среда под формата на необработени и обработени отпадъчни води, или влакна, изхвърлени от електрически сушилни за дрехи допринасят за основния път на микропластмаси под формата на влакна (Kaur et al., 2023).

- Пластмасови торбички, опаковки, изкуствени настилки, подметки, опаковки и опаковъчни материали в селското стопанство и още много други обичайни продукти, които са изпълнили основното си предназначение, но продължават да присъстват в бита.

3.3. Полимерен състав и плътност на микропластмасите

Съставът на микропластичния полимер и съответно на частиците са функция на полимерите, използвани в продуктите, количеството, което тези полимери отделят в околната среда, и изменението им по време на стареенето и изветрянето в околната среда (Jahnke et al., 2017).

Изменението в околната среда включва процеси като фотоокисление, крехкост, разпространение на пукнатини, абразия, ерозия, биоразграждане, биологично замърсяване и агрегация. Тези процеси засягат такива свойства на полимера като кристалност, плътност и якост на опън. Най-разпространените полимери в микропластмасата са: полиетилен (PE), полиетилен терефталат (PET), полиамид (PA), полипропилен (PP), полистирен (PS), поливинилов алкохол (PVA) и поливинилхлорид (PVC). Като цяло плътността на микропластмасовите полимери, открити в природата варират приблизително между 0,8 и 2 g cm⁻³, като плътността около 1 g cm⁻³ е най-разпространена. Една микропластмасова частица от значение за околната среда има средно тегло 12,5 µg, обем 0,011 mm³ и плътност 1,14 gcm⁻³ (Jahnke et al., 2017, Kaweckі, D. & Nowack, 2019, Kooi et al., 2017, Mateos-Cárdenas et al., 2020, Julienne et al., 2019)

3.4. Многоизмерност на микропластмасата

В прегледа на нидерландските експерти Koelmans et al., 2022 се посочва, че учените са създали термина "микропластмаса, свързана с околната среда", за да обозначат пластмасовите частици, които се намират в природата, включително в храната на хората. Те често представят микропластмасата в околната среда като разнообразен и сложен материал, като се има предвид произходът ѝ - голямо разнообразие от материали и продукти и го определят просто като "всички пластмасови частици, по-малки от 5 mm". Тъй като това определение е неясно, авторите уточняват, че микропластмасата представлява хетерогенна смес от полимери, размери и форми и е свързана с различни видове химични съединения. Например, полибромирани дифенилови етери (PBDE), фталати, нонилфеноли (NP), бисфенол А (BPA) и антиоксиданти, които са често

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



срещани добавки в пластмасовите продукти, бавно се десорбират в околната среда, когато пластмасовите изделия стареят и се фрагментират.

Що се отнася до самите частици, след като бъдат освободени или образувани в околната среда, те са подложени на биологично замърсяване, изветряне и стареене и взаимодействие с химични съединения, организми и природни частици при широк спектър от условия на околната среда, които са много променливи във времето и пространството (Koelmans et al., 2022).

3.5. Размер

Сред характеристиките на микропластмасата размерът има най-широк диапазон. Микропластмасовите частици включват частици с размери от нанометри до милиметри, което представлява диапазон от повече от шест порядъка на големина. Разпределението по размер на микропластмасовите частици често следва закона на силата с отрицателна стойност, като големината се определя от процесите, чрез които частиците се образуват (чрез фрагментация) или отстраняване (чрез ерозия, селективен по размер пренос или утаяване) от околната среда, включително и въздуха (Фиг. 1а). Това означава, че концентрацията на частици с по-малък размер се увеличава драстично, което може да има сериозни последици за изобилието на все още неоткриваемите пластмасови частици с наноразмери (Koelmans et al., 2022).

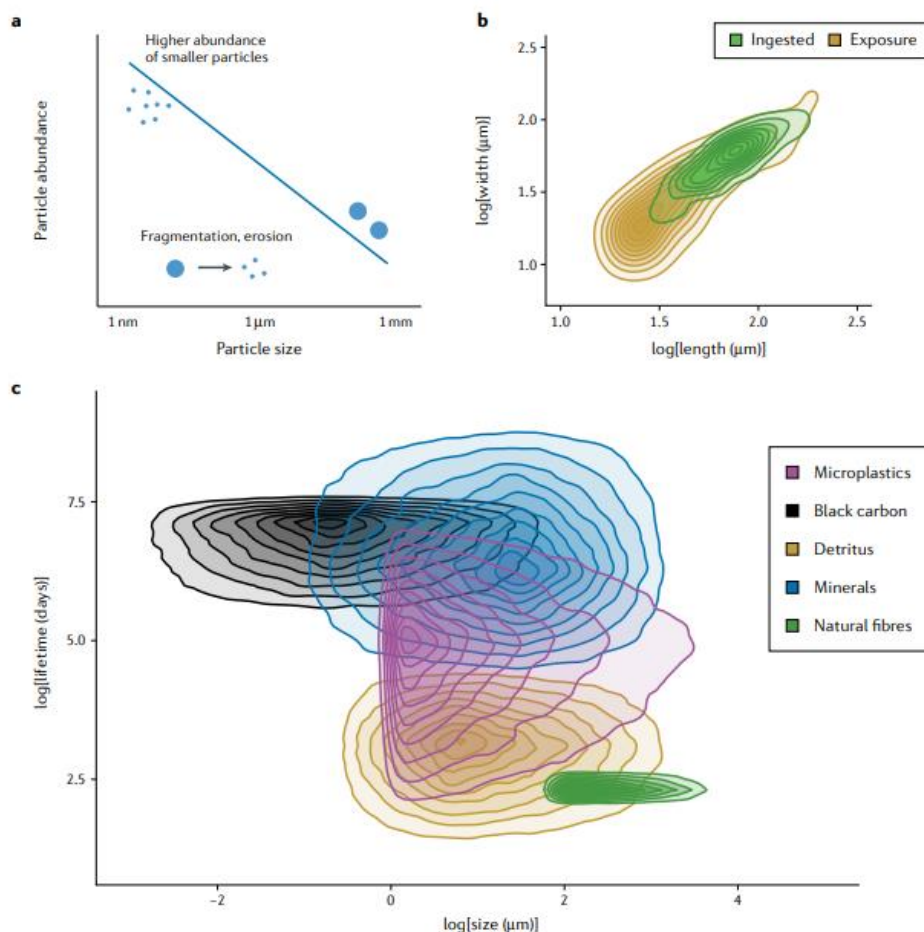
3.6. Форма

Фрагментите, влакната и филмите са най-често срещаните категории форми на микропластмасовите частици. Основните параметри, като дължина, ширина и височина, са подобни и за сферичните частици, но могат да се различават значително едни от други, с много малки височини за филмите или много малки височини и широчини при влакната. Веднъж попаднали в околната среда, формите остават разпознаваеми, въпреки че дължината на влакното или площта на филма могат да намалеят с течение на времето. Неправилните форми от трите вида, остават в същата категория и при по-нататъшно фрагментиране. Въпреки че промяната е случайна във всяка от трите форми, по-трудно е да се проследи до оригиналния материал (Koelmans et al., 2022).

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56





Фиг. 1 Връзки между процесите и характеристиките на микропластмасовите частици в околната среда **a)** Връзка между разпределението по размер и процесите на формиране на частиците. Образуването на малки частици чрез фрагментация и ерозия на по-големи частици, в комбинация със зависимостта от размера за пренос и утаяване, води до по-голямо изобилие на по-малки частици. **b)** Контурна диаграма за ширината и дължината на реалистична микропластмаса от околната среда, показваща как приемът на биодостъпна микропластмаса (погълната) представлява част от общата експозиция на микропластмаса от околната среда. Данните са за поглъщане на микропластмаса от седимента *Gammarus pulex* (водно магаренце). **c)** Контурни диаграми на продължителността на живот и размер на микропластмасите в сравнение с няколко категории натурални частици. Контурите са начертани, въз основа на триъгълни разпределения, за да насочват погледа, като се използват отчетените средни, минимални и максимални стойности (натурални частици, както е отбелязано в Таблица 1) или степенно разпределение (микропластмаси) (Kooi, M. & Koelmans, A. A., 2019; Kooi, M. et al., 2021).

3.7. Продължителност на живот на микропластмасата

Пластмасата е създадена, за да бъде трайна, затова устойчивостта и дълготрайността ѝ в околната среда е много висока. Тъй като времето за разграждане на някои полимери е много по-дълго от това, което може да се симулира в лабораторни или полеви условия, данните за оценките на продължителността на живота трябва да бъдат екстраполирани със значителна несигурност. Екстраполираните данни за устойчивост

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
 тел. 02/ 427 30 56



са използвани за оценка на полуживота на микропластмасата, вариращ от 58 години за бутилки до 1200 години за тръби. В лабораторни условия, за частица с диаметър 1 mm ще са необходими около 320 години, за да достигне диаметър от 100 nm, въз основа на свиването на частиците в резултат на фотоокисление и биоразграждане на повърхността на полимера. В околната среда обаче, може да се приеме, че разграждането протича много по-бавно поради ограничената наличност на кислород, светлина и бактерии. Моделирането на фрагментацията и калибрирането на експерименталните данни за изветрянето сочи, че фрагментите на повърхността на океана и плажовете имат 176-годишен живот. През 2015 г. е изчислено, че около 50% от пластмасата в океаните е била налична повече от 13 години като се има предвид, че 80 % и 90 % от пластмасовите изделия са на възраст над 4 и 2 години, съответно. Предвид тези периоди на полуразпад и времеви интервал от 100 до 1000 години, голяма част от съвременната пластмаса в околната среда все още се намира в ранен етап на разграждане. От друга страна, фактът, че микропластмасите са широко разпространени в околната среда, въпреки че производството на пластмаси е започнало едва преди 70 години, предполага, че образуването на микропластмаси е доста бързо (Koelmans et al., 2022).

3.8. Характеристики на микропластмасата

Характеристиките включват: тип полимер, форма и размер. Тези предварително определени категории са опростени, защото микропластмасовите частици всъщност са с много разнообразен състав. Въпреки че две микропластмасови частици никога не са еднакви, характеристиките на големи формации от частици могат да се обединят и да станат подобни. **Функцията за вероятностната плътност (probability density functions PDF)²** е статистическа функция, която определя разпределението на вероятностите на определена характеристика на микропластмасата. PDF може да се използва за вероятно количествено определяне на микропластмасата в контекста на преноса и последващото моделиране; към преизчисляване на концентрациите, получени за ограничени диапазони в размера до пълния размер на микропластмасата от 1 до 5000 μm ; да се превърнат в масови концентрации, за да се оценят експозицията, въздействието и рискът; да се определи количествено и да се визуализира бионаличността на микропластмасата. По този начин се получават специфични за полимера и за околната среда PDF, които са подходящи за специфични за обекта оценки на риска (Koelmans et al., 2022).

3.9. Микропластмаса и натурални (с естествен произход) частици

Натуралните частици са широко разпространени в бита и околната среда. Техният брой, състав и характеристики са изключително разнообразни и надхвърлят тези на микропластмасовите частици (Табл.1, Фиг. 1с). Разликите между самите натурални частици са свързани с техния химичен състав, реактивност, физическа плътност, геометрия, размер, устойчивост и изобилие. Ако натурални и пластмасови

² https://en.wikipedia.org/wiki/Probability_density_function

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



частици все пак имат сходни характеристики, тогава ще имат сравними механизми на пренос и преобразуване - и по този начин също могат да се очакват подобни токсикологични ефекти (Koelmans et al., 2022).

Таблица 1 Показателни средни стойности и диапазони на характеристиките на микропластмасовите и натуралните частици

Характеристика	Микропластмаса	Материали от глина	Детрит и органични вещества	Черен въглен
Произход	Пластм. продукти	Изветряне на скалите	Останки от растения, животни и бактерии	Непълно изгаряне на биомаса и изкопаеми горива
Средна стойност на размер и диапазон (µm)	20 (1 – 5,000)	30 (0.06–2000)	5 (0.2–2,500)	0.2 (0.001–200)
Продължителност на живот ^a (средна стойност) диапазон (дни)	10 ⁵ (10 ^{1.8} –10 ^{7.2})	10 ^{6.3} (10 ^{4.3} –10 ^{9.0})	10 ^{3.1} (10 ^{1.2} –10 ^{4.5});	10 ^{7.2} (10 ^{5.4} –10 ^{7.6}) ^b
Диапазон на плътност на частиците (g cm ⁻³)	0.8–2	1.1–2.8	0.8–1.2	0.13–2.1
Диапазон на концентрация на седимент (% сухо тегло)	<0.1–3.6	<0.1–99	67 <0.1 to about 40	0.002–3
Диапазон на концентрация в сладка вода (mg на литър)	<0.0001–1 ^c	<0.1–360	<0.1–60	<0.0001–0.35

Числата се основават на литературни данни; те са ориентировъчни и илюстративни и са използвани за определяне на качествените гранични линии на фиг. 1с. ^aПродължителност на живот, определено като пет пъти по-дълъг период на полуразпад, т.е. загуба на 97% от първоначалната маса. ^bМаксимална стойност, базирана на отчетените 64% разграждане за 10 000-20 000 години. ^cМаксимална стойност въз основа на отчетената най-висока концентрация от 10⁵ частици на литър и средно тегло от 12,5 µg.

3.9.1. Категории натурални частици

Авторите (Koelmans et al., 2022) разпределят натуралните частици в следните категории:

Инертни материали

Това са минерални частици, които се срещат в седименти и почви, суспендирани вещества или пустинен прах, пясък, тиня, кварц, глина. Минералите имат нисък афинитет към хидрофобни органични замърсители.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
 тел. 02/ 427 30 56



Органични вещества

Към тях спадат неживи частици органична материя в седименти, почви и водни системи, разлагащи се водорасли, детрит и естествени влакна. Детритът се състои от органични съединения, произхождащи от останки от организми като животни и растения и техните отпадъчни продукти. Афинитетът на хидрофобните органични замърсители към органичната материя е висок, с разпределение до 10^7 литра kg^{-1} .

Черен въглерод

Натурален кондензиран въглерод или черен въглерод е събирателен термин за редица въглеродни вещества, включващи частично овъглени растителни остатъци (дървени въглища) до силно графитизирани сажди, получени от непълното изгаряне на биомаса и изкопаеми горива в отсъствието на кислород. Черният въглерод е смес със естествен (природни пожари, вулканизъм) и антропогенен произход (промишленост, трафик, битови пожари). Афинитетът на хидрофобните органични замърсители към черния въглен е висок, с коефициенти на разпределение от два до три порядъка по-високи от тези за органичните материи.

3.9.2. Микропластмасите като част от праховите частици, седименти, суспендирани твърди вещества или почви

Натуралните частици съществуват в природата под формата на смеси и агрегати. Те са съставни частици, които често се наричат с функционални имена като аерозоли, прах, седименти, почви, прахови частици, суспендирани твърди частици или утаечни твърди частици. Подобно на други частици с антропогенен произход, микропластмасите могат да се разглеждат като нова изкуствена част на съставни натурални частици (Koelmans et al., 2022). По-нататъшното фрагментиране и/или процесите на разграждане на нанопластмасите допринасят за унищожаването им (Koelmans et al., 2022).

3.10. Взаимодействие на микропластмасите с флората и фауната

Поради многоизмерността на микропластмасата, механизмите за поглъщане, биоакмулиране и неблагоприятните ефекти, както и показатели на дозата за количествено определяне на тези ефекти, са разнообразни (Koelmans et al., 2022).

3.10.1. Усвояване и биодостъпност

Микропластмасите могат да се адсорбират на повърхността на микроводорасли, водни растения, мекотели и ракообразни (Koelmans et al., 2022).

Комбинирането на данни за токсичността на различни размери, форми и видове микропластмаси може да определи кумулативните вероятностни разпределения, описващи чувствителността на група видове към конкретен стресов фактор и разпределението на видовата чувствителност (*the species sensitivity distribution SSD*) (VKM, 2019; Adam et al., 2019; Besseling et al., 2019; Burns and Boxall, 2018; Everaert et al., 2018).

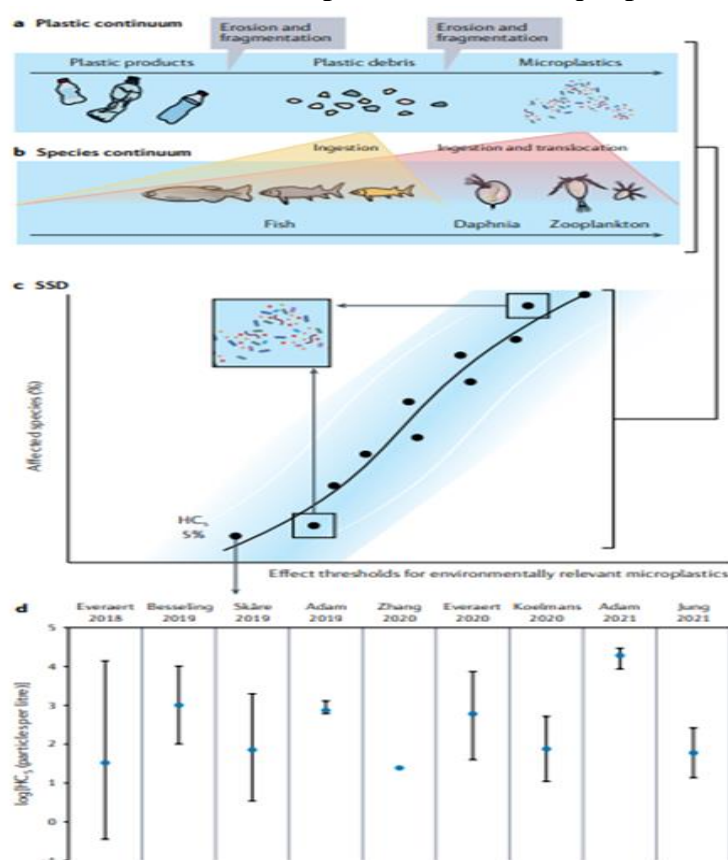
Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



Много механизми на въздействие изискват микропластмасата да бъде погълната и това е доказано в лабораторни и полеви условия за широк спектър от видове. Поглъщането от водните организми на микропластмаси зависи от тяхната биодостъпност, която предимно се определя от размера на частиците, специфичните видови характеристики на изложените на въздействие организми, като например отваряне на уста или устойчивост на преместване, както и условията на околната среда. Образуването на биофилми може да повлияе на биодостъпността чрез увеличаване на размера на микропластмасите и промяна на формата им. След поглъщане, микропластмасите могат да се пренесат по храносмилателния тракт до екскретирането им, или могат да се натрупват в червата, храносмилателната жлеза, хрилете или черния дроб на някои организми (Koelmans et al., 2022).

Фиг. 2 Взаимодействие на микропластмасата с флората и фауната



a) Наличие на пластмаса. Ерозията и фрагментацията на пластмасови предмети води до увеличаване на броя на все по-малките микропластмасови частици, които са биодостъпни за все по-голяма група видове. b) Наличие на видове организми. Веднага, след като микропластмасовите частици станат биодостъпни, те могат да предизвикат взаимодействия с различни видове. Например, по-големите частици могат да бъдат биодостъпни чрез поглъщане, но не и за най-малките организми. По-малките частици също могат да бъдат биодостъпни за малките организми чрез поглъщане, но и чрез транслокация. c) Разпределение на видовата чувствителност (SSD). Взаимодействията между биодостъпната част на наличната пластмаса и континуума на видовете може да доведе до специфични за вида ефекти. Концентрациите на праговия ефект за тези специфични за видовете въздействия могат да бъдат оценени за редица видове и да се комбинират в SSD за микропластмасата в околната среда. Концентрацията на опасност за 5 % от видовете (HC₅)

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
 тел. 02/ 427 30 56



предоставя данни за оценка на риска. d) Концентрация на частици на литър, пораждаща опасения, за 5% от видовете (НС₅), присъстващи във водното съобщество с допустима грешка, отнасящи се до 95 % доверителни интервали или 25-75 интерквартилни интервали според Everaert et al., (2018), Besseling et al. (2019), Skåre et al. (2019), Adam et al. (2019), Zhang et al. (2020), Everaert et al. (2020), Koelmans et al. (2020), Adam et al. (2021) и Jung et al. (2021). В по-късните проучвания са взети предвид повече точки с данни. Средната стойност на НС₅ за тези девет проучвания е 75,6 частици на литър.

3.10.2. Неблагоприятни ефекти

Поглъщането или абсорбцията на микропластмаса може да причини неблагоприятни ефекти върху всички водни организми. Наличието на микропластмаса може да намали броя на видовете или тяхната биомаса. На ниво организъм микропластмасата може да повлияе на оцеляването, възпроизводството, растежа, храненето, появата, ембрионалното развитие, мобилността и фотосинтетичната ефективност. На суборганизмово ниво микропластмасите могат да причинят повишена консумация на кислород, възпаление, намалена лизозомна стабилност в храносмилателната жлеза, намален антиоксидантен капацитет, увреждане на ДНК, невротоксичност, оксидативно увреждане, чревна дисбиоза, промяна на генетичната експресия, йонния обмен и ензимната активност. Механизмите, които водят до тези ефекти, често са неизвестни, но много проучвания предполагат, че микропластмасите могат да допринесат за физическо увреждане или намалено хранене (Koelmans et al., 2022).

Според авторите Koelmans et al., 2022, четирите най-значими механизма на въздействие, подредени по низходящ ред съобразно тежестта на доказателствата, са:

1. Разреждане на храната (потискане на асимилацията на храната или намаляване на хранителна стойност);
2. Вътрешно физическо увреждане;
3. Външно физическо увреждане;
4. Оксидативен стрес (с по-ниска степен на сигурност).

3.10.3. Разлики между ефектите, предизвикани от микропластмаса и натурални частици

Тъй като микропластмасовите частици присъстват сред множество инертни и разградими природни частици, ефектите от тях е вероятно да се проявят заедно. За да се осигури качествено местообитание на водните и сухоземните организми, е уместно да се обърне внимание на рисковете от смеси, които съдържат изкуствени и нискокалорични природни частици. Като цяло проучванията, сравняващи микропластмасите с натуралните частици (например червена глина, каолин или естествени седименти) в контролирани условия показват, че предизвиканите от микропластмаса неблагоприятни ефекти се проявяват при по-ниски концентрации, отколкото при натуралните частици. Тъй като повечето от публикуваните сравнения между ефектите на микропластмасата и натуралните частици се отнасят до глини или естествени седименти, съществува ясно изразена празнина в изследванията по

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



отношение на това, как може да се направи сравнение с други широко разпространени и опасни микрочастици като сажди и черни въглеродни частици с микроразмери. Учените твърдят, че последиците от микропластмасовите частици в биосферата не трябва да се разграничават напълно от тези, причинени от други натурални частици (Koelmans et al., 2022).

3.10.4. Нанопластмаси

Познанията за нанопластмасовите частици и връзката между характеристиките им и токсичността, се основават на лабораторни изследвания с изкуствено синтезирани частици, главно полистиренови сфери с размери под микрометър. В реалистичните условия на околната среда тази връзка е трудно да бъде разгледана, тъй като освен полимерната идентичност, токсикологично значимите характеристики на нанопластмасовите частици в околната среда (като форма, размер, площ, обем, повърхност, химичен състав и биоустойчивост) са неизвестни (Koelmans et al., 2022).

3.11. Рискове, свързани с микропластмасовите частици

3.11.1. Текущо състояние на оценките на риска

Въпреки че има направена оценка на експозицията на хора на микропластмаси (Mohamed Nor et al, 2021; Cox et al., 2019; Zhang et al., 2020), не е извършена оценка на риска от тази експозиция, нито на риска за сухоземните екосистеми.

Учените Koelmans et al., 2022 обобщават, че оценките на риска от микропластмасовите частици във водната среда са въз основа на сравнение на концентрациите на експозиция и концентрациите на праговия ефект (exposure concentration and threshold effect concentration). Концентрациите на експозиция са взети или от литературни данни, или от данни от моделиране. Поради различните използвани аналитични методи тези данни за експозиция често са трудни за сравняване и не са с добро качество. Подобни ограничения по отношение на съпоставимост, сериозно намаляват надеждността на получените характеристики на риска. В докладваните оценки на риска е използвано разпределението на видовата чувствителност (SSD), което има за цел да определи засегнатата част от видове при дадена концентрация (Модел на разликите в чувствителността на видовете спрямо даден източник на вреда - напр. суша, нашествие от вредители или излагане на химикали). SSD увеличава релевантността на оценката на ниво общност и се използва за получаване на концентрацията на опасност за 5 % от видовете (HC₅)(Фиг. 2). SSD използва праговите стойности на ефекта за един добре дефиниран тип стресов фактор и крайна точка (един тип увреждане) за повече от десет различни вида, докато променливите на околната среда се поддържат постоянни (Koelmans et al., 2022).

Данни за прага на въздействие обаче все още не са налични за микропластмасовите частици, видно от проучването на Koelmans et al., 2022. "Истинската" микропластмаса представлява непрекъснат поток от частици, в лабораторните тестове се използват или монодисперсни частици, които се поглъщат,

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



или частици с по-широк диапазон на размера, където по-големите частици може да са нарушили поглъщането или ефектите на по-малките частици, или да имат по-ограничена бионаличност. Микропластмасовите частици могат да предизвикат реакции по различен начин (различни видове увреждания), което предполага, че получените стойности на HC₅ от SSD остават двусмислени по отношение на идентифицирането на съответните частици и свързаното с тях въздействие (Koelmans et al., 2022).

Таблица 2 Основни разлики между микрочастиците и наночастиците в контекста на токсичността

Вид частици	Характеристики на частиците, свързани с ефекта		Възможни ефекти	
Микрочастици (1-1,000 µm)				
Микрочастици, които не съществуват в размер от диапазона на нанометри	Органично вещество	Химичен състав, смिलाемост	Химична токсичност	Разреждане на храната ^a , механично дразнене, възпаление, оксидативен стрес
	Микропластмаса	Размер, обем, площ, съотношение на страните, форма, абсорбирани химични съединения	Химична токсичност	
	Въглища	Размер, площ, химичен състав	Пневмокониоза, фиброза, рак	
Частици, които съществуват в размер от диапазона на микрометри и нанометри	Азбест	Дължина на азбестовите влакна, съотношение на размерите, тип, устойчивост ^b , абсорбирани химични съединения	Азбестоза, плеврално заболяване, рак на белия дроб, мезотелиом	
	Аерозоли от пустинен прах	Размер, площ, форма	Дихателен дистрес	
	Кварц (силициев диоксид)	Размер, площ, форма	Силикоза, освобождаване на силициева киселина, рак	
Наночастици (1-1 000 nm)				
Частици, съществуващи в размер от диапазона на микрометри и нанометри	Азбест	Дължина на азбестовите влакна, съотношение на размерите, тип, устойчивост	Азбестоза, плеврално заболяване, рак на белия дроб, мезотелиом	Транслокация ^c , биоразпределение, механично дразнене, оксидативен стрес
	Аерозоли от пустинен прах	Размер, площ, форма	Дихателен дистрес	
	Кварц (силициев диоксид)	Размер, площ, форма	Силикоза, освобождаване на силициева киселина, рак	
Наночастици, които не съществуват в	Черен въглен (сажди)	Размер, повърхност, абсорбирани	Дихателни и сърдечносъдови заболявания, рак	

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
 тел. 02/ 427 30 56



Вид частици	Характеристики на частиците, свързани с ефекта		Възможни ефекти	
		химически съединения		
размер от диапазона на микрометри	Нанопластмаса	Размер, повърхност, заряд, дължина, съотношение на страните, агрегация, абсорбирани химични съединения	Непознато ^d	
	Въглеродни нанотръбички	Размер, повърхност, дължина, съотношение на страните, агрегация, абсорбирани химични съединения	Фиброза, възпаление, рак	
	Наноматериали на метална основа	Размер, повърхностна площ, заряд, зета-потенциал, разтворимост, агрегация	Възпаление, митохондриално увреждане, увреждане на ДНК	
	Колоиди от органични вещества	Усвояемост, абсорбирани химични съединения	Химична токсичност	

^aОбобщение на някои от основните характеристики на известните ефекти или заболявания, причинни от частици с микрометрови и нанометрови размери върху флората и фауната, най-вече във връзка с вдишването. Ефектите са зависими от дозата. Ефектът на „разреждане на храната“ е от особено значение за малките безгръбначни (de Ruijter, V. N et al., 2020). Всички инертни частици могат да предизвикат този ефект при поглъщане. ^bУстойчивостта и ниската степен на пречистване често се споменават като важен фактор за токсичността на влакната (Riediker, M. et al., 2019). ^cЗа нано-частици обикновено се приема, че те са обект на преместване и разпределение между органите. ^dДействителните въздействия на нанопластмасовите частици в околната среда или в храната на човека все още не са известни.

3.11.2. Стратегии за подобряване на оценката на риска

Хармонизиране на входните данни между проучванията, стриктно спазване на критериите за качество и тестване на екологично реалистични смеси от микропластмаса могат да решат проблемите с ограничената сравнимост и качество. Двусмислеността на множествената причинно-следствена връзка (ефекти, произтичащи от различни механизми) може да бъде преодоляна, като първо се идентифицира механизмът на ефекта, а след това се подредят и определят количествено съответните показатели за експозиция и ефект. Например, след като "разреждането на храната" (food dilution) се

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
 тел. 02/ 427 30 56



определи като значим механизъм на ефект от микропластмасите, съответното измерване на дозата (погълнат обем), както и прага на експозиция и ефекта (по отношение на това измерване на дозата), могат да бъдат изравнени и количествено определени. Този механизъм - специфично количествено определяне на ефектите - е добре установена концепция в токсикологията и следва да се прилага към микропластмасовите частици, включително да разграничи физичните и химични ефекти, предизвикани от частиците. Освен за характеризирание на риска въз основа на SSD, тази концепция може да се използва и за бъдещи оценки на риска, основани на моделиране на хранителната верига (Koelmans et al., 2022).

3.11.3. Рискове, свързани с химични съединения

3.11.3.1. Химични съединения в пластмасата

Химически съединения, като ВРА (бисфенол А), се добавят към пластмасата по време на производството, за да ѝ придадат качества като цвят и прозрачност, или за подобряване на устойчивостта ѝ на абиотично и биотично разграждане (Nahladakis et al., 2018).

Към PVC обикновено се добавят фталати, за да се подобри гъвкавостта и прозрачността. Молекулите на фталатите не са химически свързани с PVC, но се наблюдават Ван дер Ваалсови физически взаимодействия, така че те могат лесно да се разпространяват в заобикалящата ги среда чрез въздуха, водата или почвата (Henkel et al., 2019; Zhang and Chen, 2014).

Тъй като МП имат хидрофобни свойства, повърхността им може също да адсорбира и концентрира хидрофобни органични замърсители от околната среда, като например хлорорганични пестициди или полициклични ароматни въглеводороди (Sun et al., 2021; Zhang et al., 2020).

Освен това микропластмасите могат да адсорбират тежки метали като кадмий, цинк, никел или олово от непосредствената им среда или да водят до образуване на биофилми (Kirstein et al., 2016), което може да допринесе за допълнителна токсичност към собствената им токсичност (Brennecke et al., 2016; Fudlosid et al., 2022).

Koelmans et al., 2022 посочват, че в допълнение към физическите ефекти и рискове от микропластмасовите частици, микропластмасата може едновременно да предизвика и химически ефекти, ако експозицията на химични съединения е достатъчно висока. Химичните съединения като добавки и замърсители на околната среда са в изобилие, адхезирани върху микропластмасовите частици в околната среда и често се наричат "пластмасови химикали" или "свързани с пластмасата" химикали.

В зависимост от концентрациите и експозицията, всеки от тези химикали от всяка такава среда могат да представляват риск за флората и фауната. Микропластмасата може да бъде значителен източник на опасни химикали чрез водата като среда на експозиция, което води и до смъртност при някои условия на околната среда.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



3.11.3.2. Векторен ефект на микропластмасите

Отдавна се предполага, че десорбцията на химикали от микропластмаси след поглъщане на частици може да увеличи експозицията им и впоследствие да доведе до химически рискове за флората и фауната ("ефект на микропластмасовия вектор"). Въпреки това, сега се смята, че е малко вероятно ефектът на микропластмасовите вектори да има важна роля в повечето местообитания и досега не е доказан риск (Koelmans, A. A, 2021, 17 Burns, E, 2018 , Lohmann, R, 2017).

3.11.3.3. Справяне с въздействието на химикали и частици

Химическите ефекти и по този начин потенциалните рискове са силно повлияни от състава на химическата смес, концентрациите на химическите съединения, посоките на пренос на химикали, наличието и съвместната експозиция чрез водата, чрез естествените органични частици или чрез таргетни/възприемчиви организми. Най-добре е химичните и физични токсични компоненти на микропластмасата да се оценяват поотделно като опасности, като се следва принципа на отделните дозиметрични показатели и механизми на въздействие, които да се комбинират едва на последния етап на оценката (Koelmans et al., 2022).

3.11.3.4. Нова рамка за оценка на риска от микропластмаса

Koelmans et al., 2022 са въвели рамки за оценка на риска от микропластмасови частици. Тези рамки все още не включват теорията и инструментите, необходими за охарактеризиране на сложността на микропластмасата. Тъй като научният прогрес през последните години се справя с много от предизвикателствата, сега може да се определи обща рамка за оценка на риска от микропластмаса, която се прилага както за околната среда, така и за животните и за човешкото здраве. Учените посочват три нови елемента, включени в рамката за оценка на риска от микропластмасови частици:

1. Използване на функциите на вероятностна плътност (PDF) за описание на токсикологично значимите характеристики на частиците, така че да не е необходимо се допуска опростяване на категории;
2. Използване на QA/QC (осигуряване на качество и контрол - quality assurance and control) скрининг методи, за да се оцени, дали експозицията и данните за ефекта са подходящи за целта;
3. Използване на подходящи изчислителни методи за оценка на експозицията на химикали, вложени в пластмасата по всички съответни пътища.

Учените Koelmans et al., 2022 са определили нов подход за оценката на риска, която да включва три нива на информация:

Първо, предприемат се стъпки на ниво процес, който включва дефиниране на проблема, дизайн на експозицията, оценка на въздействието, характеризиране на риска и осигуряване на качество и контрол за проверка на входните данни.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



Второ, въз основа на конкретното определение на проблема, следва да бъдат идентифицирани механизмите за неблагоприятно въздействие върху флората и фауната. Тъй като микропластмасата е разнообразна смес от замърсители, тя предизвиква ефекти едновременно чрез различни механизми на въздействие. Всеки от тези механизми е свързан с екологично или токсикологично значими крайни точки и се измерва количествено чрез **екологично или токсикологично зависими от дозата показатели (ecologically relevant dose metric ERM or toxicologically relevant dose metric TRM)** за този механизъм - брой на частиците, обща повърхност на частиците (mm²), обща маса на частиците (mg), общ обем на частиците (mm³) и др.

Трето, тъй като показателите за дозата се отнасят само за част от цялото (континуума), те трябва да бъдат екстраполирани от данните за експозицията, които обхващат целия континуум (Koelmans et al., 2022).

Прегледът, направен от нидерландските учени Koelmans et al., 2022, изброява три стъпки в новата рамка за оценка на риска (Фиг. 3):

Стъпка 1: определяне на проблема

Проблемът, който трябва да се дефинира, често е защитата на дадена популация или отделен вид организми. След това, се определя експозицията и оценката на въздействието, които разчитат на обезпечаване на качеството - качествен контрол и хармонизиране на аналитичните техники и методите на изпитване на ефекта. Ключово изискване за оценката на риска от микропластмаси е, че както експозицията на микропластмаса, така и оценката на ефекта се отнасят до едни и същи **екологично или токсикологично зависими от дозата показатели**. Златният стандарт би бил, да се тества последователна разнообразна смес от микропластмаси, като корекцията на данните и хармонизирането на методите може да намалят различията в текущите данни. За ретроспективни оценки на риска вече са разработени инструменти за количествено осигуряване на качеството и оценка на критериите. Те позволяват на оценителя на риска да избере данни, които са подходящи за целите на оценката, което е от решаващо значение, когато оценката е предназначена да има регулаторни последици.

Стъпка 2: измерване на дозата, определяща механизма на ефекта/въздействието

Вероятни ефекти от микропластмасовите частици са: разреждане на храната, вътрешни увреждания и оксидативен стрес. Необходимо е да се определят съответните показатели за дозата за тези механизми. Например, обемът е подходящ показател за измерване на дозата при механизма за разреждане на храна, а взаимовръзката между формата и съотношението дължина/диаметър при микропластмасова частица с форма на влакно (aspect ratio) е от значение в случаите, когато вътрешното увреждане има пряка връзка с токсичността на влакната. Повърхностната площ или специфичната повърхност са подходящи показатели за крайни точки на ефекта оксидативен стрес. При възникване на потенциални рискове от химикали или патогени, адсорбирани върху повърхността на пластмасата или свързани с нея вещества, концентрациите, съответно спрямо повърхностната площ и масата на микропластмасовите частици, са подходящи показатели за измерване. Реалистични за околната среда смеси от частици има

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



вероятност да предизвикат ефекти чрез множество механизми едновременно, което означава, че съществуват множество релевантни измервания събрано дозата. Някои от тези измервания са свързани с отчитане на бионаличността. Например, ако частиците са твърде големи, за да бъдат погълнати, критерият разреждане на храната ще се прилага само за поглъщаните бионалични фракции от микропластмаси. Механизмите на клетъчно ниво, като например оксидативен стрес, изискват транслокация/преместване, така че само много по-малки частици биха били бионалични (Таблица 2). Бионаличността е утвърдена концепция за оценка на риска за традиционни химикали и е от значение и за микропластмасата.

Стъпка 3: приравняване на дозата спрямо съвкупността от микропластмаси

След като съответният механизъм на въздействие и показателите на дозата са известни, те трябва да са в съответствие с данните за експозицията. Налице са добре установени процедури за оценка на риска от химикали, които процедури обхващат и химикали, абсорбирани от микропластмасови частици. За да се установи взаимовръзката между ефектите на частиците и данните за експозицията, експозицията трябва да се изрази в параметри като обем на микропластмасата, съотношение на размерите, (специфична) повърхност или маса. Често параметъра маса би могъл да се замени с параметър обем, като се има предвид пропорционалността между двете, тъй като плътността на смесите от микропластмасови частици в околната среда е близка до 1 и тези два параметъра са по-малко променливи от други характеристики на микропластмасата, като размер и форма. Различните показатели за експозиция и доза могат да бъдат определени количествено, като се използват гореспоменатите PDF за микропластмаса получена перспективно или ретроспективно, като се използват наличните данни. Предвид разнообразието на микропластмасите, правилото е да се вземат предвид многобройните механизми на въздействие и по този начин да се измерват дозите, което изисква задълбочено характеризиране на наличието на микропластмасови частици.

Най-съвременни технологии за инфрачервено преобразуване на Фурие (Fourier transform infrared FTIR³) с фокална равнина осигуряват необходимите детайли за получаване на такива PDF, в противен случай могат да се използват съществуващите PDF за микропластмаса в околната среда. Например, подробни функции за вероятностна плътност за показателите обем, площ, маса, съотношението дължина/диаметър и специфична повърхност са предоставени от мета-анализи на характеристиките на отделните частици, взети от различни компоненти на околната среда. Това е обещаващ подход за установяване на взаимовръзката между дозите и характеристиките на микропластмасите с механизмите на въздействие и праговете. След това се прави характеристика на риска за всеки от механизмите на въздействие поотделно (Фиг. 3), след което оценителят на риска може да използва „предпазлив“ подход, базиран върху показателите, за които е изчислен най-висок риск (Koelmans et al., 2022).

³ Инфрачервената спектроскопия с преобразуване на Фурие (FTIR) е вид вибрационна спектроскопия, която е полезна при изучаването на различни химични процеси в почвата.

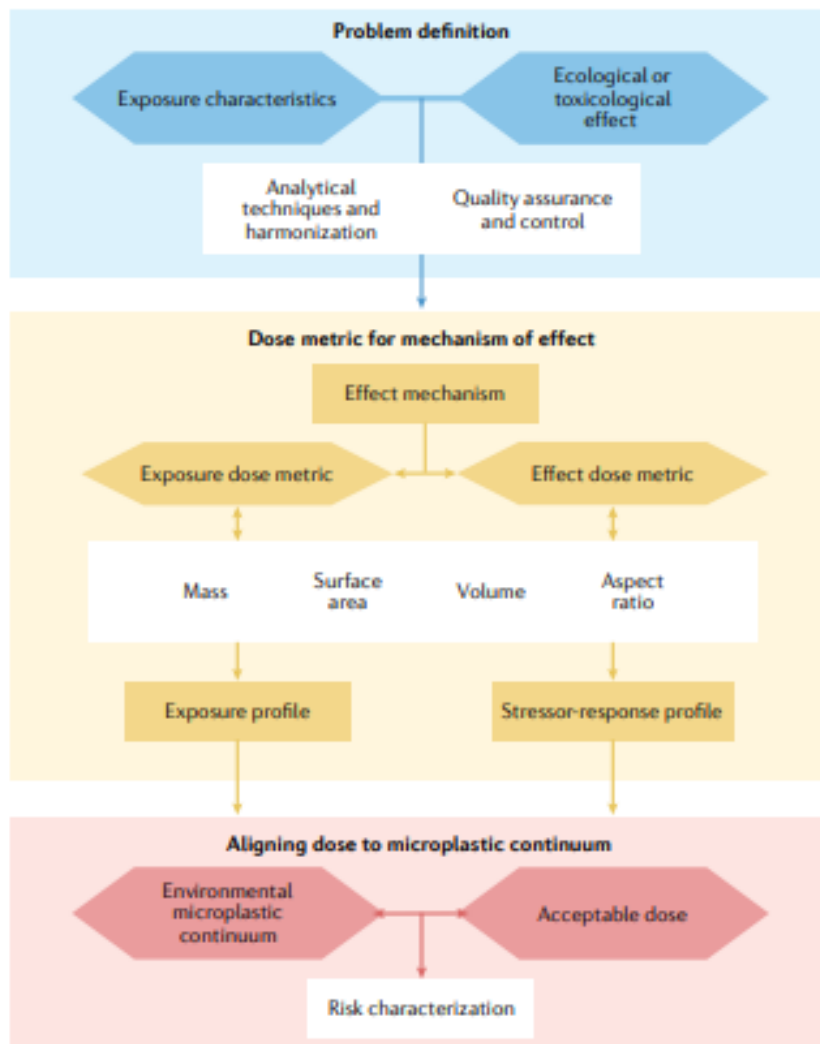
Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



Фиг.3 Схема за оценка на риска, отчитаща многоизмерността на микропластмасите



Стъпка 1: определяне на проблема (синьо поле). Определянето на проблема се извършва с цел защита (например защита на населението). Това дава насоки за проектирането на оценката на опасността и експозицията, като се взема предвид хармонизиране на методите и осигуряване на качество и контрол (QA/QC), за да се изберат входни данни, които са подходящи за целта.

Стъпка 2: измерване на дозата за механизма на въздействие (жълто поле). Въз основа на избрани механизми на въздействие, са определени екологично или токсикологично значими дозиметрични показатели (съответно ERM или TRM) като маса, повърхност, обем и съотношение на страните. Впоследствие концентрацията на експозицията и праговите концентрации на въздействие се оценяват за тези показатели, което води до профил на експозицията и профил на стресовата реакция.

Стъпка 3: привеждане на дозата в съответствие с микропластмасовия континуум (червено поле). Всеки от ERM или TRM профилите от стъпка 2 се отнасят само за биодостъпната част от микропластмасовия континуум. По този начин, те трябва да се отнасят за цялото количество (от 1 до 5 000 µm) реалистична микропластмаса в околната

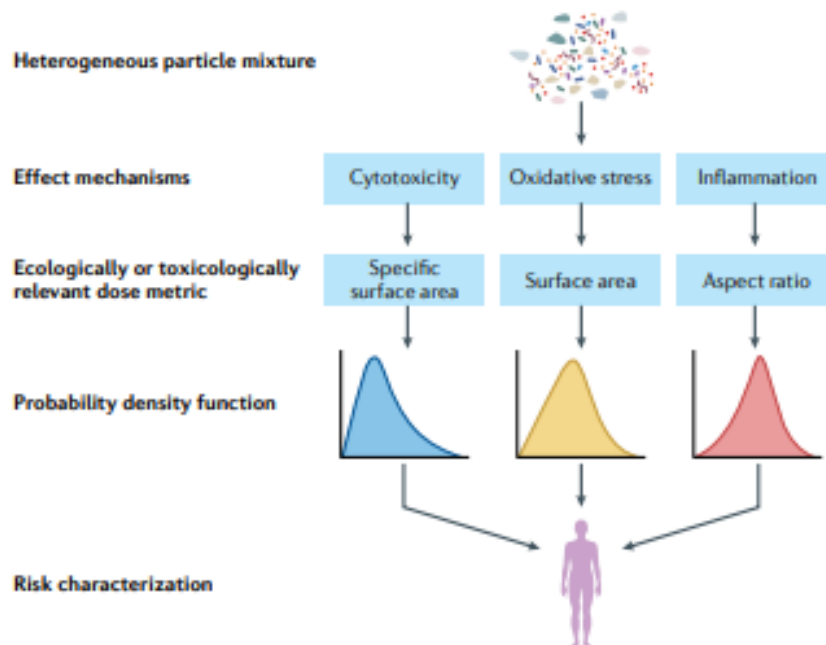
☐ Amber ☐ Green ☒ White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
 тел. 02/ 427 30 56



среда. Това преобразуване се извършва с помощта на функции на вероятностна плътност (PDF). Накрая, за всеки ERM или TRM се сравняват действителната експозиция и праговете при характеризиране на риска. По този начин се изчислява рискът за всеки от отделните механизми на въздействие.

Фиг. 4 Концепцията за едновременно действащи механизми на въздействие.



Хетерогенна смес от пластмасови частици може да предизвика въздействие чрез различни механизми, действащи едновременно. За всеки механизъм се определя екологично или токсикологично значима доза се определят показатели за измерване на дозата. Това са например повърхност на частиците, специфична повърхност, съотношение на страните (съотношение между дължина и ширина) или обем на частиците (не е показано). За всеки от екологично или токсикологично значимите показатели на дозата, се определя функция на вероятностната плътност (PDF), въз основа на най-добрите налични данни за характеристиките на микропластмасовите частици в околната среда. Накрая, като се използват тези PDF, данните за експозицията се преобразуват в екологично или токсикологично релевантни параметри за характеризиране на риска за всеки от механизмите на въздействие.

3.12. Прогноза

Пластмасите се срещат навсякъде в нашата околна среда и микропластмасовите частици са сравнително нова подкатегория. Поради произхода си от антропогенната дейност и продължаващото производство на пластмасови изделия и фрагментирането им, се очаква да се увеличи количеството микропластмаса. Спрямо размера на частиците, в бъдеще се очаква делът на по-малките частици да се учвеличи, което води до повишена бионаличност и повишен риск за все повече видове растения и животни и за хората. Рисковете на този етап не могат да бъдат изчерпателно оценени, но повечето учени са съгласни, че въпросът не е дали, а по-скоро кога рисковете за околната среда и човешкото здраве, свързани с микропластмасата частици ще станат очевидни.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
 тел. 02/ 427 30 56



За подобряване на методите за оценка на риска от микропластмаса е необходимо определяне на целия спектър от характеристики на микропластмасата в околната среда. Изключително важно е методологията за оценка на риска от МП да бъде валидирана. Необходимо е да се обединят и съгласуват настоящите фрагментирани и разнородни изследователски подходи, за да може да се придобият емпирични данни и да се разработят техническите и теоретичните инструменти, които оптимално да съответстват на предвидената цел – оценка на риска за конкретен вид жив организъм. Концептуалните подходи, представени в настоящия преглед, могат да бъдат разширени, за да се достигне последваща съгласуваност и ефективност в сложната област на научните изследвания (Koelmans et al., 2022).

Освобождаването на микропластмаси в околната среда, във всички местообитания в световен мащаб поражда опасения относно потенциалните рискове за флората и фауната (SAPEA, 2019).

4. Оценка на риска от микропластмаси при различни видове организми

4.1. Оценка на риска от микропластмаси при сладководни седименти

Redondo-Hasselerharm et. all., 2022 са направили проучване на тема „*Risk assessment of microplastics in freshwater sediments guided by strict quality criteria and data alignment methods*“, в което оценяват рисковете от микропластмасите в сладководните седименти като използват строги критерии за качество и методи за хармонизиране на данни (включват процеси на хармонизиране на основните концепции и дефиниции на променливи или единици, за да се получат сравними стойности на променливите, за които могат да бъдат изведени конкретни взаимовръзки).

През последното десетилетие са положени много усилия за количествено определяне на текущите нива на експозиция на МП в околната среда (Schell et al., 2020) и за оценка на тяхното въздействие върху множество организми (Gomes et al., 2022).

Цитираните в прегледа на Redondo-Hasselerharm et. all., 2022 данни от няколко проучвания са послужили за характеризиране на рисковете за околната среда от излагането на МП чрез водата (VKM, 2019; Adam et al., 2019; Besseling et al., 2019; Everaert et al., 2020; Burns and Vohall, 2018). Например Besseling et al. (2019) оценяват рисковете от МП чрез сравняване на горните граници на отчетените диапазони във водните системи с данни за токсичност за флората и фауната, изложена на МП във водата, като заключението е, че риск има в крайбрежните морски води (Besseling et al., 2019). VKM (2019) сравнява измерените концентрации в околната среда (MECs) във водни екосистеми с прогнозни концентрации без ефект (PNECs) за водни организми, изложени на експозиция на МП чрез водната фаза, като заключението е, че има риск за 6% от изследваните обекти (VKM, 2019). Въпреки че всички проучвания, оценяващи рисковете от МП, включват данни за токсичност за пелагични и бентосни организми, само експозицията чрез водната фаза е взета предвид. Никога не е извършвана систематична оценка на риска за бентосни видове, изложени на въздействието през

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



седиментната фаза. Следователно има спешна необходимост от оценка на риска от МП за бентосни организми, като се използват реалистични сценарии (Scherer et al., 2020).

Проучване, в което се определят количествено концентрациите на МП в река Елба, показва, че сладководните седименти съдържат средно 600 000 пъти по-високи концентрации на МП (частици / m³) в сравнение с водната фаза (Scherer et al., 2020; Winkler et al., 2022). Седиментите поглъщат МП във водните системи, така че те представляват по-важен път на експозиция за водните организми отколкото водната фаза. Налице е спешна необходимост от оценка на рисковете от МП за бентосните организми, като се използват реалистични сценарии за експозиция на седименти (Scherer et al., 2020a).

Рисковете от МП за сладководните бентосни⁴ видове са оценени чрез сравняване на измерените концентрации в околната среда (measured environmental concentrations MECs) с изчислените концентрации на опасността за 5% от видовете (hazardous concentration HC₅, която е концентрацията, при която 5% от видовете ще бъдат засегнати), като се отчита качеството на наличните МЕС след прилагане на инструменти за проверка на качеството (QA/QC). (Redondo-Hasselerharm, P. E. et. all., 2022)

Общо 103 МЕС на МП в седименти от сладководни басейни от всички континенти са описани в 60 проучвания. От всички проучвания става ясно, че 46,7% от МЕС на МП са в сладководни басейни в Азия, 35,0% - в Европа, 11,7% - в Америка, 5,0% - в Африка и 1,7% - в Океания. От всички 103 изследвани сладководни екосистеми, за които има известни МЕС в седиментите, 59,2% са реки, 36,9% - езера, а 3,9% са от други видове сладководни екосистеми. Най-често откриваните форми на МП са влакна, фрагменти и филми - 85,0%, 80,0% и 45,0%, съответно, в проучванията, в които се съобщава формата на МП частици. Тези три форми са и най-често откривани в повърхностни и питейни води (Koelmans et al., 2019).

Най-често срещаните видове полимери на МП са полипропилен (65,0%), полиетилен (56,7%), полистирол и полиетилен терефталат (двата 38,3%). В повърхностната и питейната вода PE, PP и PS са най-често откриваните полимери също, като PE е по-често срещан от PP (Koelmans et al., 2019).

Заклучението е, че при настоящите концентрации на МП в седиментите в световен мащаб, рисковете за бентосните съобщества от наличието на микропластмаси не могат да бъдат изключени.

Засегнати видове сладководни бентосни организми

Авторите Redondo-Hasselerharm et. all., 2022, използвайки 8 от цитираните проучвания, посочват, че общо 14 сладководни бентосни вида са изложени на въздействието на МП чрез седимента, като само 5 от тях са засегнати от наличието на МП в седиментите. Установените ефекти от наличието на МП са: върху размножаването на *C. elegans* след 4 дни експозиция (Hoss et al., 2022); растежа на *Gammarus pulex*

⁴ Бентос е събирателен термин за организми, живеещи по или на дъното на океани, морета и други водни басейни. Растителният бентос – наричан още фитобентос, е представен от бактерии, водорасли, вторичноводни растения, достига дълбочина до границата на вечния мрак.

Животинският бентос – наричан още зообентос, се състои от прикрепени и свободноживеещи организми.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



(Redondo-Hasselerharm et al., 2018) и *Myriophyllum spicatum* (van Weert et al., 2019) съответно след 28 и 21 дни експозиция; растежът и появата на *C. riparius* (Scherer et al., 2020b) и *C. tepperi* (Ziajahromi et al., 2018) са повлияни от наличието на МП съответно след 28 и 10 дни. За останалата част от видовете се приема, че концентрацията без наблюдаван ефект (No Observed Effect Concentrations NOEC) съответства на най-високата тествана концентрация МП.

Разпределения на чувствителността на видовете (SSD) към обема и площта като екологично релевантни показатели

Най-чувствителният вид, относно SSD, е макрофитът *M. spicatum*, чието растеж е повлиян след 21-дневно излагане на въздействието на МП чрез седимента (van Weert et al., 2019). Вторият най-чувствителен вид е нематодът *C. elegans*, чието размножаване е засегнато след 4 дневно въздействие (Hoss et al., 2022).

Характеризиране на риска

Изглежда че всички преизчислени МЕС са по-ниски от стойностите на HC_5 , получени за обема и площта, което показва, че няма непосредствени рискове от МП за сладководните бентосни видове. Учените са установили, че рисковете в случай на механизъм за разреждане на храната, при който обемът е екологично значим параметър за измерване на дозата (ecologically relevant dose metric ERM), ще бъдат по-големи, отколкото от потенциалните ефекти, причинени от транслокация. Това наблюдение показва, че рискове не могат да бъдат изключени, но за да придобият значимост фактите, трябва да се подобри качеството на данните за експозицията.

Обща дискусия и последици

Очаква се емисиите на пластмаса и излагането на въздействието на МП само да се увеличават (Borrelle et al., 2020). Това означава, че ще се повиши риска от отлаганията на МП в седиментите. Замърсяването с микропластмаса е неотложен екологичен и социален проблем, който има неблагоприятни последици за водните екосистеми в целия свят (Redondo-Hasselerharm et. all., 2022).

4.2. Оценка на риска от микропластмаси за *Daphnia magna* (моделно животно за оценка на токсичността на микропластмасата)

Kaur et.all, 2022 в публикацията си на тема: „*Daphnia magna* as a model animal for assessing microplastic toxicity“ е представил оценка на риска от МП за *Daphnia magna*.

Поради малкия си размер (от 1 μ m до 5 mm) микропластмасите могат лесно да бъдат погълнати, вследствие на което водните и бентосните организми, както стана ясно и от останалите цитирани проучвания, са застрашени от наличието на микропластмаса.

D. magna е род планктонни ракообразни (водна бълха), които поглъщат микропластмаси и не различават частици от различно естество. Микропластмасите намаляват преживяемостта, растежа, възпроизводството и имунните реакции при

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56

Daphnia. Потъващите микропластмаси също така намаляват скоростта и вертикалната траектория на плуване на *Daphnia*. В заключение, тези констатации подчертават рисковете за здравето, свързани със замърсяването с микропластмаси във водната среда, и представят *Daphnia* като добро моделно животно за изследвания в областта на токсичността на микропластмасите (Kaur et.al., 2022).

Влияние на микропластмасата върху Daphnia magna

Замърсяването с микропластмаса в сладководните местообитания застрашава водното съобщество особено за суспензионно хранещите се (филтриращи) и има сериозни екологични последици. Дафниите могат да се хранят с частици с размер между 1 и 70 μm и обикновено се хранят с водорасли и бактерии. Те заемат важно място във водните хранителни вериги, тъй като регулират растежа на водораслите и бактериите. Предпочитани местообитания за този вид са плитководните екосистеми поради по-малкия натиск от хищници, но са уязвими от въздействието на замърсяването с микропластмаса и климатичните промени (Kaur et.all, 2022).

Учените са установили, че микропластмасата оказва вредно въздействие върху *Daphnia* на морфологично, анатомично и молекулярно ниво. Микропластмасата отделя вредни вещества в храносмилателния тракт на *Daphnia* и представлява сериозна заплаха. Някои видове микропластмаси се екскретират, но други се усвояват и могат да причинят токсични ефекти, като смъртност, намалена виталност на популацията, намалена преживяемост и намалено възпроизводство на дафниите; променено поведение, променени метаболизъм на мазнини и енергия, промени в микробиома и промени в дължината, ширината и формата на тялото, дължина на опашния гръбнак при потомството; нарушена филтрираща дейност и нарушена дейност на червата; анормално ембрионално развитие, обструкция на храносмилателната система и поява на оксидативен стрес. Установено е, че поглъщането на микропластмаса забавя чревната функция на водната бълха. След намаляване на хранителните запаси и излагане на микропластмаси се променя дължината на тялото на възрастните екземпляри. Продължителният период на експозиция и увеличаването на размера на тялото на възрастните им позволява да консумират по-голям размер частици, което води до повишен прием (Kaur et.all, 2022).

Намалена виталност при Daphnia

Микропластмаси, които попадат чрез хрилете и червата, се прикрепят към повърхността на тялото на *D. magna*, което намалява ефективността на функциите на хрилете и ефективността на дишането при женски и млади екземпляри, което допринася за намаляване на виталността им. Микропластмасата също оказва влияние върху отделянето - напълно отсъства или е много слабо, води до намаляване на приема на храна и в крайна сметка - до гладуване. Намаленото количество храна води до по-малко количество енергия. Острите ръбове на микропластмаса с неправилна форма могат да увредят вътрешните органи на *D. magna* и в крайна сметка да възпрепятстват усвояването на храна. Наблюдава се промяна в репродуктивните способности,

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



(намаляване на потомството), поведението и жизнените функции на водната бълха, вследствие на прием на микропластмасови частици (полиетилен) (Kaur et.all, 2023).

Авторите Kaur et.all, (2023) правят заключението, че за правилното функциониране на сладководната екосистема е важна стабилността на популациите *D. magna* в естествени условия, тъй като водните бълхи са важни консуматори на фитопланктон, както и основен източник на храна за хищниците. Установено е, че микропластмасата влияе на популациите *D. magna*, тъй като уврежда репродуктивната система, предизвиква редица имунни реакции, влияе върху потомството и темповете на растеж. Микропластмасата има значителни неблагоприятни въздействия както върху общата численост на популациите и върху общата биомаса на *D. magna*, както и значително намалява броя на възрастните индивиди. В заключение това проучване показва, че експозицията на МП предизвиква токсичност за *D. magna* на различни биологични нива (Kaur et.all, 2023).

4.3. Неблагоприятни последици от поглъщането на пластмаса върху средиземноморската дребнопетниста акула (*Scyliorhinus canicula* SC)

Mancia et al., 2020 са направили проучване относно последиците от поглъщане на МП от средиземноморската дребнопетниста акула (*Scyliorhinus canicula* SC).

Учените напомнят, че за пръв път още през 1980 г. се съобщава за изобилието на пластмасови отпадъци, плаващи в средиземноморските води. В Средиземно море концентрацията на МП варира от десетки до стотици хиляди единици на квадратен километър. Това изобилие на плаващи пластмасови отпадъци вероятно е породено от антропогенни фактори. Този полузатворен басейн е и един от най-натоварените морски пътища в света, приемащ води от гъсто населени речни брегове и същевременно свързан с Атлантическия океан чрез Гибралтарския проток.

Дребнопетнистата акула SC е избрана за модел в това проучване като представителна извадка на потенциално застрашени риби в южните води на Италия.

През пролетта на 2018 г. са събрани сто дребнопетнисти акули на две географски места в южния район на централната част на Средиземно море. За всеки екземпляр са направени стандартни измервания на органите и е определен пола на рибите. Гастроинтестиналният тракт е запазен за откриване на частици пластмаса и идентификация. При наличие на пластмаси (макро- и микро-) те са характеризирани по размер, форма и полимерна типология чрез микроскопия и μ -Raman спектроскопия. Далак от подгрупа от тридесет проби е запазен за екстракция на РНК, след което е използван за количествено определяне чрез PCR в реално време на транскриптите на Т-клетъчен бета рецептор (TCRB), Т-клетъчен делта рецептор (TCRD) и IgM (имуноглобулин М) гени.

Резултатите от проучването са показали наличие на пластмаса в голяма част от пробите, което показва масово поглъщане на пластмаса. Микропластмасата (МП, от 1 μ m до <1 mm) присъства в големи количества в почти всички проби, а макропластмасата (MaП > 1 cm) - в приблизително 18 % от събраните проби. Значително повишена експресия на TCRB, TCRD и IgM е наблюдавана в далака на екземпляри, погълнали MaП, успоредно с 67% увеличение на теглото на черния дроб. Въпреки че наличието на

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



МП само по себе си не е достатъчно, за да предизвика силно активиране на имунитета, учените твърдят, че някои видове пластмаси, попадащи в категорията на МаП, могат да бъдат по-токсични от другите и да са от решаващо значение за активиране на имунния отговор.

Настоящото проучване отчита висока експозиция и поглъщане на микро- и макропластмаса при малката петниста акула *S. Canicula*, което подчертава повсеместното разпространение на този замърсител в Средиземно море и факта, че бъдещите усилия за контрол на замърсяването трябва да се насочат към пластмасите и техните съпътстващи замърсители. Резултатите от това проучване са първото доказателство, че замърсяването с пластмаси представлява нова заплаха за *S. canicula*, средиземноморската хранителна верига и потребителите (Mancia et.all., 2020).

4.5. Оценка на риска от микропластмаси при тропическия домашен щурец *Gryllodes Sigillatus*

Към настоящия момент, по-голямата част от проучванията, са съсредоточени върху неблагоприятните ефекти на микропластмасата върху водната флора и фауна, но микропластмасите присъстват и на земната околна среда. Авторите на това проучване предполагат, че поглъщането на микропластмаса от сухоземно насекомо би имало локализиран ефект върху здравето на червата и усвояването на хранителните вещества, така че продължителното приемане на микропластмаса би повлияло на скоростта на растеж и размера на тялото на възрастните екземпляри.

Fudlosid et all., 2022 в проучване на тема „*Ingestion of Microplastic Fibres, But Not Microplastic Beads, Impacts Growth Rates in the Tropical House Cricket Gryllodes Sigillatus*“ изказват твърдението, че поглъщането на микропластмасови влакна, оказва въздействие върху скоростта на растеж на тропическия домашен щурец *Gryllodes Sigillatus*.

В проучването е отбелязано, че микропластмасите се отлагат в почвата, като произхождат от различни източници. Полиетилен, полипропилен и полиетилен терефталат са открити в почти 80% от проучванията, като в най-високи концентрации са доказани в близост до градските райони. Понастоящем няма яснота за това дали/как поглъщането на МП влияе на сухоземните животни, но наличните данни са показали различни неблагоприятни ефекти на МП върху храносмилането, растежа, възпроизводството и поведението.

В горесцитираното проучване са дадени примери за ефектите, които МП причинява на различни сухоземни организми. Когато сухоземните охлюви *Achatina fulica* са експериментално хранени с влакна от РЕТ, охлювите консумират по-малко храна, а влакната причиняват значителни увреждания на стомашно-чревния им тракт. За разлика от тях, гигантските охлюви (*Achatina reticulata*), които поглъщат РЕТ-МП с неправилна форма и размер в концентрации 1 и 10% w/w стават все по-големи и променят скоростта си на придвижване. Колемболата *Folsomia candida*, изложена на 1% w/w РЕ-МП в почвата намалява със 70,2% потомството (Ju et al., 2019). Поглъщането на микропластмаса причинява увреждане на репродуктивните органи на мъжките земни червеи (*Eisenia andrei*) (потискане на сперматогенезата), но причинява незначителни

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



промени на женските репродуктивни тъкани, което показва, че ефектите от МП могат да бъдат полово специфични.

Качеството и съставът на храната влияят върху растежа на насекомите така, че наличието на МП може да повлияе на скоростта на растежа и размера на тялото им (Nijhout and Callier, 2015).

Като по-голямо насекомо с алометричен растеж, *G.sigillatus* е основен модел за изследване на промените в растежа на насекомите като последица от поглъщането на МП. В проучването на Fudlosid et al., 2022, щурците са приемали флуоресцентни PE МП топчета (2,5%, 5% или 10% w/w) или PET микрофибри (0,25%, 0,5% или 1% w/w) смесени във фураж. Горепосочените концентрации не са избрани, за да имитират концентрациите на пластмаса, на които могат да бъдат изложени насекомите в обичайната им среда (която не може да бъде точно оценена), а за да се наблюдава как голямото количество МП в храната може да повлияе на физиологията на щурците. PE и PET са избрани като два от най-големите компонента на отпадъците от пластмаси според проучване на Shahul Hamid, 2018 г..

Токущо излюпени тропически домашни щурци (*Grylloides sigillatus*) са хранени със стандартна храна, към която са добавени различни концентрации на флуоресцентен полиетилен под формата на микропластмасови топчета (75-105 µm) или необработени микрофибри от полиетилен терефталат (<5 nm), докато умрат или достигнат зряла възраст (приблизително 8 седмици). Това иновативно проучване изследва ефектите от приема на МП върху растежа и развитието на хемиметаболитно (претърпява непълна метаморфоза) сухоземно насекомо (Fudlosid et al., 2022).

Както и при предходни проучвания за влиянието на МП върху други моделни животни (Wright et al., 2013; Windsor et al., 2019; Immerschitt and Martens, 2020), в проучването на Fudlosid et al., 2022 е установено, че щурците поглъщат пластмасите в храната и те преминават през стомашно-чревния тракт. Учените установяват, че когато мъжките и женските екземпляри *G. Sigillatus* са хранени с високи концентрации на PE топчета, няма промяна в размера на тялото, теглото или смъртността. При женските щурци, приемали високи концентрации (1 % w/w) PET микрофибри, се наблюдава значително намаляване на общия размер на тялото и теглото по време на развитието, докато мъжките екземпляри са имали само редуция на теглото при 0.5% w/w PET. Резултатите предполагат, че високите концентрации на полиетиленови топчета с размер от 100 µm могат да преминат през червата на щурците без значителен негативен ефект върху техния растеж и време за развитие, но високи концентрации полиетилен терефталатни микрофибри не могат. Тези констатации поставят допълнителни въпроси относно механизмите, чрез които микропластмасите намаляват растежа на щурците и токсикологичните ефекти, причинени от PET или PE. Тъй като приема на PE не води до промени в размера на тялото, е възможно тази промяна, дължаща се на PET микрофibrите, да е причинена от морфологията на пластмасата (влакна спрямо топчета) (Fudlosid et al., 2022).

Проучвания за златната рибка (*Carassius auratus*) показват, че тя дъвче и често отхвърля фрагменти от микропластмаса, но пасивно поглъща МП влакна, които причиняват значителни увреждания на стомашно-чревния тракт и черния дроб на златните рибки (Jabeen et al., 2018).

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



Разликата във въздействието на топчетата и влакната подкрепя хипотезата, че формата на пластмасата е от решаващо значение за разбирането на нейното въздействие върху животните.

В околната среда МП се срещат в различни размери и *G. sigillatus* може да ги избягва при храненето си (Fudlosid, et al., 2022). Сладководната скарида *Gammarus pulex* например избягва храна с акрилни микрофибри, когато ѝ е предоставена алтернативна храна без микрофибри (Yardy and Callaghan, 2020).

В канадското проучване на Fudlosid et al., 2022 се посочва, че микропластмасите без примеси имат токсикологични ефекти върху организмите, които трябва да бъдат охарактеризирани, преди да може адекватно да бъдат обяснени физиологичните причини, последици и ефекти, причинени от замърсени МП.

Трябва да се проучи въпросът как пластмасите могат да бъдат трансформирани в червата на сухоземните насекоми и дали има и други ефекти от поглъщането на МП върху физическото състояние на насекомите, които не могат да се наблюдават чрез наблюдения на размера или теглото или въздействието върху размножаването или поведението.

Въпреки че учените отчитат отрицателните ефекти от поглъщането на микропластмаса върху растежа на *G. sigillatus*, остава неясно какви заплахи представлява микропластмасата за сухоземните насекоми (Fudlosid et al., 2022).

4.6. Оценка на риска от микропластмаси при медоносни пчели

Проучване от 2023 г. на международен екип от учени⁵ установява, че: хроничната експозиция на микропластмасови фрагменти от полистирол не оказва влияние върху преживяемостта на медоносните пчели, но намалява честотата на хранене и телесното тегло на пчелите.

В статията се съобщава, че микропластмаси под формата на фрагменти и влакна са открити наскоро в мед от Еквадор, както и в пчелен мед, събран в Дания и Китай. Въпреки това, малко се знае за това как МП влияят върху здравето на пчелите и резултатите са противоречиви.

Медоносните пчели са в постоянен контакт с растенията, въздуха, почвата и водата в близост до кошера и в резултат на това замърсителите от тези източници се пренасят върху тях, навлизат в кошера и преминават в продуктите. Изводът е, че медоносните пчели са в контакт с всички компоненти на околната среда докато събират нектар, медена роса, прашец и други растителни продукти, а тъй като микропластмасите са замърсители в околната среда, те ще попаднат и в меда и в медената роса и в прашеца (Al Naggar et al., 2023). Целта на проучването е да изследва потенциалната токсичност на полистиренови (ПС) - МП фрагменти върху здравето на медоносните пчели, като за първи път те са изложени на въздействието на микропластмаси в контролирана лабораторна среда.

⁵ Al Naggar Y, Sayes CM, Collom C, Ayorinde T, Qi S, El-Seedi HR, Paxton RJ, Wang K. Chronic Exposure to Polystyrene Microplastic Fragments Has No Effect on Honey Bee Survival, but Reduces Feeding Rate and Body Weight. *Toxics*. 2023 Jan 21;11(2):100. doi: 10.3390/toxics11020100. PMID: 36850975; PMCID: PMC9963634.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



В хода на експерименталното проучване с медоносни пчели, авторите са изследвали хроничната експозиция на пчелите, с добре установен чревен микробиом, на малки ($27 \pm 17 \mu\text{m}$) или големи ($93 \pm 25 \mu\text{m}$) ПС - МП фрагменти в различни концентрации ($1, 10, 100 \mu\text{g mL}^{-1}$) в продължение на 14 дни. Проучени са промените в консумацията на храна и телесното тегло, както и смъртността на пчелите.

Резултатите от проучването на Al Naggar et al., 2023 сочат, че хроничната експозиция на фрагменти от ПС - МП няма ефект върху преживяемостта на медоносните пчели, но намалява храненето и телесното им тегло, особено при $10 \mu\text{g PS - МП}$ фрагменти на mL , което може да има дългосрочни последици за здравето на медоносните пчели. Констатациите от това проучване могат да помогнат при оценката на риска от МП за здравето на опрашителите.

Намаленият прием на храна при пчелите, в отговор на експозиция на фрагменти от ПС - МП и намаляването на телесното тегло с течение на времето може да увеличи смъртността, да наруши жизнения цикъл и да повлияе репродуктивните способности, което ще има верижни ефекти върху приноса на медоносните пчели към екологията (Al Naggar et al., 2023).

Необходимо да се проведат допълнителни проучвания относно ефектите за здравето от постоянното присъствие на МП във восъка, за да се определи дали МП има някакво въздействие върху общото състояние на пчелното семейство в дългосрочен план. Освен това, въздействието на нанопластмасите върху здравето на медоносните пчели и рисковете, свързани с МП, техните добавки, адсорбираните замърсители и патогените, трябва да бъдат допълнително проучени (Al Naggar et al., 2023).

4.7. Оценка на риска от микропластмаси при селскостопански животни

В пилотно проучване, проведено от Dr. I. van der Veen et al., 2022, за първи път са докладвани данни за открита микропластмаса в говеждото и свинското месо и в кръвта на селскостопанските животни.

Към настоящия момент липсват изследвания на експозицията на пластмасови частици във фермите. Данните за наличие на пластмасови частици в малкия брой изследвани проби в това пилотно проучване, могат да послужат като отправна точка за по-мощни изследвания, целящи изясняване на пълния диапазон от концентрации на пластмаса във фуражите и при селскостопанските животни. Това проучване сочи, че вероятността за експозиция чрез фураж е голяма. Производство на фуражи за животни без опаковането им в пластмаса може да бъде един от начините за намаляване на експозицията на пластмасови частици при животните.

През 2018 г. Органът по безопасност на храните на Нидерландия (NVWA) е публикувал известие (NVWA, 2018), че има постъпило искане от животновъдите в Нидерландия да бъдат премахнати всички пластмасови опаковки от фуражите и балите с фураж, преди да имат досег животните до тях. Инспекторите от NVWA са констатирани, че животните получават фураж, който е напълно или частично опакован (с цел да се запази фуражът чист). NVWA заявява, че пластмасата е нежелан материал, който крие рискове за благосъстоянието и здравето на животните, които не могат да бъдат избегнати от самите животни.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



Въпреки това уведомление, пластмасовите опаковки на балите с фураж все още не се отстраняват по различни причини, например, за да се запази влажността на грубия фураж или за да се предотврати достъпа на въздух. Понякога в пластмасовата опаковка на балите с фураж са направени дупки, през които животните могат да достигнат до храната си през опаковката. Така, неселективни консуматори, особено крави, могат да погълнат и част от опаковката - пластмаса.

Ако животните поемат с храната пластмасови частици, възникват въпроси за това, как се отразява на животните експозицията на микро- и/или нанопластмаси, има ли опасност за здравето и благосъстоянието им, има ли риск за безопасността на месото и млечните продукти и в крайна сметка каква е експозицията на хората на нано и микропластмаси, чрез консумацията на храни, произведени от тези животни. След като бъдат погълнати от животните, част от пластмасовите частици могат да се пренесат през епителните мембрани в кръвния поток.

Основната цел на това проучване е да се проучи експозицията на селскостопанските животни в Нидерландия на пластмасови частици. Целта на тези проучвания е да дадат отговор на въпроси, свързани с благосъстоянието на животните и токсикологичните последици за хората и животните, както и да се повиши обществената осведоменост.

Кравите и свинете са избрани за контролни (сентинелни⁶) видове, тъй като са продуктивни животни и животинските продукти служат за храна на хората. Прасетата са всеядни и се хранят със смесени фуражи, включително отпадъци от супермаркети (в Нидерландия могат да се хранят с хранителни отпадъци от супермаркети, ако не съдържат животински продукти).

Това проучване включва 5 етапа:

- 1.1. *Определяне на пластмасови частици в кръвта на селскостопански животни*
- 1.2. *Определяне на пластмасови частици в краве мляко*
- 1.3. *Определяне на пластмасови частици в говеждо и свинско месо*
- 1.4. *Определяне на пластмасови частици във фуража*

Резултатите от проучването показват, че пет (PVC-P, PP, Styr-P, PE и PET) полимера са открити в кръвта на животните. Забележително е, че в кръвните проби на всички тествани животни са открити най-малко три различни вида пластмасови частици, което демонстрира "вътрешната" експозиция на кравите и прасетата на абсорбираните частици. Само четири от 26 изследвани проби мляко съдържат пластмасови частици > LOQ (граница на количествено определяне - limit of quantification). Тези четири проби са с различен произход (супермаркет, ръчно доено мляко и мляко от резервоар). Само една проба от пълномаслено мляко е анализирана и тя съдържа три вида пластмасови частици. Не може да се направи общо заключение за съдържанието на пластмаса, което е мигрирало от кръвта към месото и млякото според авторите. Две от пробите, които имат доказано съдържание на пластмаса в това проучване са биомесо, закупено от супермаркет. Една от тези проби съдържа най-високата концентрация на пластмаса от всички тествани проби месо. Тъй като в това изследване са включени само две проби, не

⁶ Сентинелните видове са организми, които се изследват в контекста на проучванията на замърсяването, за да предоставят ранно предупреждение за експозиция и риск за хората

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



може на базата на тези резултати да се заключи, че био месото като цяло съдържа повече пластмаса от други месни проби.

Броят на изследваните проби от фуражи в това пилотно проучване е достатъчен, за да докаже, че експозицията на крави и свине на пластмаса чрез гранулираните фуражи е възможна. Фуражът е един от потенциалните източници на пластмасови частици, наред с водата и въздуха. Сдъвкването на храната може допълнително да намали размера на частиците, което увеличава вероятността за абсорбирането им (което зависи от това дали частиците са достатъчно малки, за да преминат през биологичните мембрани).

Въз основа на направените в това проучване констатации, може да се направи заключение, че експозиция на селскостопански животни от пластмасови частици е често срещано явление, но не могат да бъдат направени категорични заключения относно потенциалните рискове за здравето на животните или на хората при консумация, докато не се съберат достатъчно токсикологични данни. Разглеждането на външните източници на експозиция помага при предприемането на потенциални мерки за смекчаване на въздействието, които са насочени към предотвратяване на експозицията. Фуражът е избран като най-вероятния източник на експозиция върху животните и потенциално би повлиял негативно кръговата икономика, ако се докаже, че твърде много пластмаса прониква в цикъла на хранене на животните.

Въпреки че това пилотно проучване дава ясни индикации, че селскостопанските животни и евентуално хората са изложени на пластмаса, необходимо е да се анализират по-голям брой проби, за да се направят по-конкретни заключения и да се извършат статистически анализи, напр. по отношение на концентрациите, честотата на откриване, времеви и пространствени промени в концентрациите на пластмасови микрочастици (Dr. I. van der Veen et al., 2022).

5. Проучване за замърсяване с МП в България

В България е проведено съвместно проучване на учени от Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания при БАН (Berov and Klajn., 2020) и „Грийнпийс“, което показва сериозното замърсяване на Черно море с микропластмаса. Замърсяването на българското черноморие с микропластмаса е сходно с това в Балтийско море и Северозападното Средиземноморие – едни от най-замърсените водни басейни в света. Изчисленията показват, че през август месец 2017 г. в изследвания район между Бургас и нос Калиакра микропластмасовите елементи наброяват средно 429 000 частици на квадратен километър. Според събраните данни, най-голям дял от микропластмасите във водата са влакната – вероятно остатъци от въжета и мрежи. Замърсяването с микропластмаси е най-силно в района на нос Калиакра и при устието на река Камчия.

Има голяма необходимост от подобни изследвания поради вредите, които пластмасовите отпадъци нанасят на околната среда и в частност – на водните басейни и техните обитатели, но и на плавателните съдове и на водната инфраструктура. Данните за замърсяването на Черно море са малко, а конкретното изследване ги допълва с актуална информация за състоянието на българското Черноморие. Авторите на изследването препоръчват подобни проучвания да продължават да се правят по цялата

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



брегова линия и в различни сезони, за да може, да се добие още по-добра представа за нивата на замърсяване на Черно море (Greenpeace Bulgaria, 2018).

6. Заключение

Всички проучвания категорично доказват експозиция от микропластмаси върху различните видове организми. Учените правят заключения, че МП предизвикват значителни неблагоприятни ефекти върху храненето, растежа, възпроизводството и оцеляването на животните. Повечето от тези проучвания са извършени при експериментални условия и не е известно до каква степен тези условия са приложими за естествената среда. Няма доказателства дали това се случва в природата и какви са ефектите при индивидите, за които е доказано, че са изложени на въздействие от МП. Това ограничава надеждността на оценката на риска за микро и нанопластмасите. Степента на токсичността и въздействието върху околната среда на МП остават несигурни.

Наличните токсикологични данни не са достатъчни, за да може да се определят безопасни концентрации, да се оценят рисковете при различните видове животни, но това не значи, че те не съществуват. Широкото разпространение на микропластмасите ги прави част от естествената среда и обитанието на много организми. Темата за ефектите от микропластмасови частици при различни видове животни предстои да бъде обект на много нови проучвания.

7. Стратегия на ЕС за пластмасите

През януари 2018 г. ЕС приема Европейска стратегия за пластмасите⁷. Тя е част от плана за действие на ЕС за кръговата икономика и се основава на съществуващите мерки за намаляване на пластмасовите отпадъци.

Стратегията за пластмасите има за цел да защити околната среда и да намали морските отпадъци, емисиите на парникови газове и зависимостта от вносни изкопаеми горива. Тя ще подкрепя по-устойчиви и по-безопасни модели на потребление и производство на пластмаси. Стратегията за пластмасите има за цел също така да трансформира начина, по който пластмасовите продукти се проектират, произвеждат, използват и рециклират в ЕС.

Стратегията на ЕС обхваща целия жизнен цикъл на пластмасовите изделия. Целта е те да станат по-дълготрайни, по-лесни за повторно използване и рециклиране, по-лесни за събиране.

Конкретните действия, които се предприемат са:

- Превръщане на рециклирането рентабилно за бизнеса;

⁷ Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions A European Strategy for Plastics in a Circular Economy COM/2018/028 final

https://environment.ec.europa.eu/strategy/plastics-strategy_bg?etrans=bg

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136

<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56

- Ограничаване на пластмасовите отпадъци - Директива относно пластмасовите продукти за еднократна употреба и риболовните съоръжения⁸;
- Мерки за ограничаване на употребата на пластмасови микрочастици в продуктите и за справяне и намаляване на непреднамереното изпускане на пластмасови микрочастици в околната среда;
- Мерки относно пластмасите на биологична основа, биоразградимите и компостируемите пластмаси;
- Нови правила относно пристанищните приемни съоръжения за справяне с морските отпадъци;
- Стимулиране на иновациите и инвестициите;
- Стимулиране на глобалната промяна

Тъй като опаковките са едно от основните приложения на пластмасите, до 2030 г. всички пластмасови опаковки в ЕС трябва да могат да се използват повторно или да се рециклират. Наред с намаляването на въглеродния отпечатък на промишлеността, това ще доведе до по-малко пластмасови отпадъци в околната среда и ще забави разпространението на микропластмасата.

Пластмасите са навсякъде - от опаковките на храните до играчките на децата, от домакински принадлежности до животоспасяващи медицински иновации. Повечето от тези предмети са предназначени да се ползват само веднъж. Хората не употребяват пластмасите по най-добрия начин, използват ги за кратко и ги изхвърлят. Натрупването на пластмасови отпадъци вреди на околната среда, причинява икономически щети и може да навреди на човешкото здраве чрез хранителната верига и въздуха.

Ако ситуацията не се промени, в крайна сметка може да се окаже, че в нашите океани има повече пластмаса, отколкото риба до 2050 г., а 99 % от морските птици ще се хранят с пластмаса. Това явление се влошава от нарастващото количество пластмасови отпадъци, които се генерират всяка година - 25,8 милиона тона само в Европа (Plastics Europe).

Как да се справим с предизвикателствата, свързани с пластмасата?⁹

Какво да направим, за да намалим пластмасовите отпадъци?

Продуктите трябва да могат лесно да се рециклират, индустрията и търговците да се опитат да намалят използването на пластмасови опаковки, местните власти да осигуряват повече и по-добри възможности за събиране на пластмасовите отпадъци, а хората трябва да бъдат обучени как да намалят своите пластмасови отпадъци.

Например:

- Да събират отпадъците си разделно за рециклиране;
- Да избягват да ползват изделия за еднократна употреба като пластмасови прибори и чаши;
- Да избягват да си купуват продукти, които са прекомерно опаковани;

⁸ Директива (ЕС) 2019/904 на Европейския парламент и на Съвета от 5 юни 2019 година относно намаляването на въздействието на определени пластмасови продукти върху околната среда (текст от значение за ЕИП) Избор: 1 PE/11/2019/REV/IOB L 155, 12.6.2019г., стр. 1—19

⁹ Changing the way we use plastics <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e6f102e3-0bb9-11e8-966a-01aa75ed71a1>

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



- Да намалят броя на използваните найлонови торбички.¹⁰

По данни на Евробарометър, повечето българи подкрепят мерките за намаляване на пластмасовите отпадъци, което показва, че хората са решени да се справят с проблема с пластмасата (Евробарометър).

Употребата на пластмаса крие голям риск за бъдещето на околната среда. Замърсяването с микропластмаса е сериозен проблем в световен мащаб, който е резултат от решенията и поведението на хората. Тясно интердисциплинарно сътрудничество между природните, социалните и поведенческите науки и регулаторните науки е пътят напред за решаване на сложния проблем с пластмасата (SAPEA, 2019).

Източници:

Adam, V., Yang, T., Nowack, B., 2019. Toward an ecotoxicological risk assessment of microplastics: Comparison of available hazard and exposure data in freshwaters. *Environ. Toxicol. Chem.* 38, 436–447. <https://doi.org/10.1002/etc.4323>.

Adam, V., von Wyl, A. & Nowack, B. Probabilistic environmental risk assessment of microplastics in marine habitats. *Aq. Toxicol.* 230, 105689 (2021).

Al Nagggar, Y.; Sayes, C.M.; Collom, C.; Ayorinde, T.; Qi, S.; El-Seedi, H.R.; Paxton, R.J.; Wang, K. Chronic Exposure to Polystyrene Microplastic Fragments Has No Effect on Honey Bee Survival, but Reduces Feeding Rate and Body Weight. *Toxics* 2023, 11, 100. <https://doi.org/10.3390/toxics11020100>.

Berov D., Klayn S. Microplastics and floating litter pollution in Bulgarian Black Sea coastal waters, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 156, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111225>

Besseling, E., Redondo-Hasselerharm, P., Foekema, E.M., Koelmans, A.A., 2019. Quantifying ecological risks of aquatic micro- and nanoplastic. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 49, 32–80. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1531688>.

Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I., and Canning-Clode, J. (2016). Microplastics as Vector for Heavy Metal Contamination from the marine Environment. *Estuarine, Coastal Shelf Sci.* 178, 189–195. doi:10.1016/j.ecss.2015.12.003.

Borrelle, S.B., Ringma, J., Lavender Law, K., Monnahan, C.C., Lebreton, L., McGivern, A., Murphy, E., Jambeck, J., Leonard, G.H., Hilleary, M.A., Eriksen, M., Possingham, H. P., De Frond, H., Gerber, L.R., Polidoro, B., Tahir, A., Bernard, M., Mallos, N., Barnes, M., Rochman, C.M., 2020. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science* 369, 1515–1518. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.ABA3656>.

Bundschuh, M. et al. Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? *Environ. Sci. Eur.* 30, 6 (2018).

Burns, E.E., Boxall, A.B.A., 2018. Microplastics in the aquatic environment: Evidence for or against adverse impacts and major knowledge gaps. *Environ. Toxicol. Chem.* 37, 2776–2796. <https://doi.org/10.1002/etc.4268>.

¹⁰ Changing the way we use plastics Да променим начина, по който използваме пластмасата <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e6f102e3-0bb9-11e8-966a-01aa75ed71a1/>

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



O'Connor, J. et al. Microplastics in freshwater biota: a critical review of isolation, characterization and assessment methods. *Glob. Challeng.*

<https://doi.org/10.1002/gch2.201800118> (2019).

Cox, K. D. et al. Human consumption of microplastics. *Environ. Sci. Technol.* 53, 7068–7074 (2019).

de Ruijter, V. N., Redondo-Hasselerharm, P. E., Gouin, T. & Koelmans, A. A. Quality criteria for microplastic effect studies in the context of risk assessment: a critical review. *Environ. Sci. Technol.* 54, 11692–11705 (2020).

Dr. I. van der Veen Dr. L.M. van Mourik M.J.M. van Velzen Q.R. Groenewoud Dr. H.A. Leslie Plastic Particles in Livestock Feed, Milk, Meat and Blood A Pilot Study Vrije Universiteit Amsterdam (VUA) *Environment & Health Report* EH22-0129 April 2022.

El-Sherif, D.M.; Eloffy, M.G.; Elmesery, A.; Abouzid, M.; Gad, M.; El-Seedi, H.R.; Brinkmann, M.; Wang, K.; Al Naggar, Y. Environmental Risk, Toxicity, and Biodegradation of Polyethylene: A Review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022, 29, 81166–81182. [CrossRef]

Everaert, G., Van Cauwenberghe, L., De Rijcke, M., Koelmans, A.A., Mees, J., Vandegheuchte, M., Janssen, C.R., 2018. Risk assessment of microplastics in the ocean: Modelling approach and first conclusions. *Environ. Pollut.* 242, 1930–1938. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.07.069>.

Everaert, G., De Rijcke, M., Lonneville, B., Janssen, C.R., Backhaus, T., Mees, J., van Sebille, E., Koelmans, A.A., Catarino, A.I., Vandegheuchte, M.B., 2020. Risks of floating microplastic in the global ocean. *Environ. Pollut.* 267, 115499. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115499>.

Fudlosid S, Ritchie MW, Muzzatti MJ, Allison JE, Provencher J, MacMillan HA. Ingestion of Microplastic Fibres, But Not Microplastic Beads, Impacts Growth Rates in the Tropical House Cricket *Gryllobates sigillatus*. *Front Physiol.* 2022 May 11;13:871149. doi: 10.3389/fphys.2022.871149. PMID: 35634147; PMCID: PMC9132090.

Greenpeace Bulgaria <https://www.greenpeace.org/bulgaria/press/1404/prouchvane-greenpeace-seriozno-zamursyavane-chno-more-mikroplastmasa/>

Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment. Part two of a global assessment (eds Kershaw, P. J. & Rochman, C. M.) (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP, 2016).

Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., and Purnell, P. (2018). An Overview of Chemical Additives Present in Plastics: Migration, Release, Fate and Environmental Impact during Their Use, Disposal and Recycling. *J. Hazard. Mater.* 344, 179–199. doi:10.1016/j.jhazmat.2017.10.014.

Henkel, C., Hüffer, T., and Hofmann, T. (2019). The Leaching of Phthalates from PVC Can Be Determined with an Infinite Sink Approach. *MethodsX* 6, 2729–2734. doi:10.1016/j.mex.2019.10.026.

Hoss S., Rauchschalbe, M.T., Fueser, H., Traunspurger, W., 2022. Food availability is crucial for effects of 1-µm polystyrene beads on the nematode *Caenorhabditis elegans* in freshwater sediments. *Chemosphere* 298, 134101. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134101>.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



Immerschitt, I., and Martens, A. (2020). Ejection, Ingestion and Fragmentation of Mesoplastic Fibres to Microplastics by Anax Imperator Larvae (Odonata: Aeshnidae). *Odonatologica* 49, 57–66. doi:10.5281/zenodo.3823329.

Jahnke, A. et al. Reducing uncertainty and confronting ignorance about the possible impacts of weathering plastic in the marine environment. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 4, 85–90 (2017)

Julienne, F., Delorme, N. & Lagarde, F. From macroplastics to microplastics: role of water in the fragmentation of polyethylene. *Chemosphere* 236, 124409 (2019).

Jung, J.-W. et al. Ecological risk assessment of microplastics in coastal, shelf, and deep sea waters with a consideration of environmentally relevant size and shape. *Environ. Pollut.* 270, 116217 (2021).

Ju, H., Zhu, D., and Qiao, M. (2019). Effects of Polyethylene Microplastics on the Gut Microbial Community, Reproduction and Avoidance Behaviors of the Soil Springtail, *Folsomia candida*. *Environ. Pollut.* 247, 890–897. doi:10.1016/j.envpol.2019.01.097

Kaur S, Gupta H and Singh Z (2023) *Daphnia magna* as a model animal for assessing microplastic toxicity. *Environ Sci Arch* 2(1): 28-33.

Kawecki, D. & Nowack, D. Polymer-specific modeling of the environmental emissions of seven commodity plastics as macro- and microplastics. *Environ. Sci. Technol.* 53, 9664–9676 (2019).

Kirstein, I. v., Kirmizi, S., Wichels, A., Garin-Fernandez, A., Erler, R., Löder, M., et al. (2016). Dangerous Hitchhikers? Evidence for Potentially Pathogenic *Vibrio* Spp. On Microplastic Particles. *Mar. Environ. Res.* 120, 1–8. doi:10.1016/j.marenvres.2016.07.004.

Koelmans, A. A. et al. Risks of plastic debris: Unravelling fact, opinion, perception and belief. *Environ. Sci. Technol.* 51, 11513–11519 (2017).

Koelmans, A.A., Mohamed Nor, N.H., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S.M., De France, J., 2019. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Res* 155, 410–422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>.

Koelmans, A. A., Redondo-Hasselerharm, P. E., Mohamed Nor, N. H. & Kooi, M. Solving the non-alignment of methods and approaches used in microplastic research in order to consistently characterize risk. *Environ. Sci. Technol.* 54, 12307–12315 (2020).

Koelmans, A. A., Diepens N. J. & Mohamed Nor, N. H. Weight of evidence for the microplastic vector effect in the context of chemical risk assessment. *In Microplastic in the Environment: Pattern and Process* (ed. Bank, M. S.) (Springer, 2021).

Koelmans, A.A., Redondo-Hasselerharm, P.E., Nor, N.H.M. et al. Risk assessment of microplastic particles. *Nat Rev Mater* 7, 138–152 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00411>

Kogel, T., Bjørøy, Ø., Toto, B., Bienfait, A. M. & Sanden, M. Micro- and nanoplastic toxicity on aquatic life: determining factors. *Sci. Total. Environ.* 709, 136050 (2020)

Kooi, M., Van Nes, E. H., Scheffer, M. & Koelmans, A. A. Ups and downs in the ocean: effects of biofouling on vertical transport of microplastics. *Environ. Sci. Technol.* 51, 7963–7971 (2017).

Kooi, M. & Koelmans, A. A. Simplifying microplastic via continuous probability distributions for size, shape and density. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 6, 551–557 (2019) Този документ представя концепцията за описание на характеристиките на микропластмасата чрез непрекъснатото PDF, което позволява да се улови разнообразието от микропластмасите

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



като самостоятелен замърсител при пренос, експозиция и оценка на риска, а не в рамките на много отделни категории.

Kooi, M. et al. Characterizing the multidimensionality of microplastics across environmental compartments. *Water Res.* 202, 117429 (2021).

Kumar, R.; Verma, A.; Shome, A.; Sinha, R.; Sinha, S.; Jha, P.K.; Kumar, R.; Kumar, P.; Shubham; Das, S.; et al. Impacts of Plastic Pollution on Ecosystem Services, Sustainable Development Goals, and Need to Focus on Circular Economy and Policy Interventions. *Sustainability* 2021, 13, 9963.

Lohmann, R. Microplastics are not important for the cycling and bioaccumulation of organic pollutants in the oceans — but should microplastics be considered POPs themselves? *Int. Environ. Assess. Manag.* 13, 460–465 (2017).

Mancia A., Chenet T., Bono G., Geraci M. L., Vaccaro C., Munari C., e Mistri M., Cavazzini A., Pasti L., Adverse effects of plastic ingestion on the Mediterranean small-spotted catshark (*Scyliorhinus canicula*), *Marine Environmental Research*, Volume 155, 2020, 104876, ISSN 0141-1136, <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104876>.

Mateos-Cárdenas, A., O'Halloran, J., van Pelt, F. N. A. M. & Jansen, M. A. K. Rapid fragmentation of microplastics by the freshwater amphipod *Gammarus duebeni* (Lillj.). *Sci. Rep.* 10, 12799 (2020).

Mohamed Nor, N. H., Kooi, M., Diepens, N. J. & Koelmans, A. A. Lifetime accumulation of nanoand microplastic in children and adults. *Environ. Sci. Technol.* 55, 5084–5096 (2021)

Nijhout, H. F., and Callier, V. (2015). Developmental Mechanisms of Body Size and Wing-Body Scaling in Insects. *Annu. Rev. Entomol.* 60, 141–156.
doi:10.1146/annurev-ento-010814-020841.

Redondo-Hasselerharm, P.E., Falahudin, D., Peeters, E.T.H.M., Koelmans, A.A., 2018. Microplastic effect thresholds for freshwater benthic macroinvertebrates. *Environ. Sci. Technol.* 52, 2278–2286. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05367>.

Redondo-Hasselerharm, Paula E., Rico A., Koelmans A. A., Risk assessment of microplastics in freshwater sediments guided by strict quality criteria and data alignment methods, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 441, 2023, 129814, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129814>.

Riediker, M. et al. Particle toxicology and health — where are we? Part. Fibre Toxicol. 16, 1–33 (2019).

Rochman, C. M. et al. Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environ Toxicol. Chem.* 38, 703–711 (2019).

de Ruijter, V. N., Redondo-Hasselerharm, P. E., Gouin, T. & Koelmans, A. A. Quality criteria for microplastic effect studies in the context of risk assessment: a critical review. *Environ. Sci. Technol.* 54, 11692–11705 (2020).

Science Advice for Policy by European Academies. A scientific perspective on microplastics in nature and society Expert group report summarizing the state of the science regarding microplastics in nature and society (**SAPEA**, 2019).

Skåre, J. U. et al. Microplastics, occurrence, levels and implications for environment and human health related to food. Opinion of the steering committee of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM, 2019)

Shahul Hamid, F., Bhatti, M. S., Anuar, N., Anuar, N., Mohan, P., and Periathamby,

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



A. (2018). Worldwide Distribution and Abundance of Microplastic: How Dire is the Situation? *Waste Manag. Res.* 36, 873–897. doi:10.1177/0734242X18785730.

Scherer, C., Weber, A., Stock, F., Vurusic, S., Egerci, H., Kochleus, C., Arendt, N., Foeldi, C., Dierkes, G., Wagner, M., Brennholt, N., Reifferscheid, G., 2020a.

Comparative assessment of microplastics in water and sediment of a large European river. *Sci. Total Environ.* 738, 139866 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139866>.

Scherer, C., Wolf, R., Volker, J., Stock, F., Brennholt, N., Reifferscheid, G., Wagner, M., 2020b. Toxicity of microplastics and natural particles in the freshwater dipteran *Chironomus riparius*: Same same but different. *Sci. Total Environ.* 711, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134604>.

Sun, S., Shi, W., Tang, Y., Han, Y., Du, X., Zhou, W., Zhang, W., Sun, C., and Liu, G. (2021). The Toxic Impacts of Microplastics (MPs) and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) on Haematic Parameters in a marine Bivalve Species and Their Potential Mechanisms of Action. *Sci. Total Environ.* 783, 147003 doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147003.

van Weert, S., Redondo-Hasselerharm, P.E., Diepens, N.J., Koelmans, A.A., 2019. Effects of nanoplastics and microplastics on the growth of sediment-rooted macrophytes. *Sci. Total Environ.* 654, 1040–1047. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.183>.

VKM, J.U. Skåre, J. Alexander, M. Haave, I. Jakubowicz, H.K. Knutsen, A. Lusher, M. Ogonowski, K.E. Rakkestad, I. Skaar, L.E.T. Sverdrup, M. Wagner, A. Agdestein, J. Bodin, E. Elvevoll, G.-I. Hemre, D.O. Hessen, M. Hofshagen, T. Husøy, Å. Krogdahl, A.M. Nilsen, T. Rafoss, T. Skjerdal, I.-L. Steffensen, T.A. Strand, V. Vandvik, Y. Wasteson, Microplastics; occurrence, levels and implications for environment and human health related to food. Scientific opinion of the Scientific Steering Committee of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment., Oslo, 2019.

Winkler, A., Antonioli, D., Masseroni, A., Chiarcos, R., Laus, M., Tremolada, P., 2022. Following the fate of microplastic in four abiotic and biotic matrices along the Ticino River (North Italy). *Sci. Total Environ.* 823, 153638 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153638>

Windsor, F. M., Tilley, R. M., Tyler, C. R., and Ormerod, S. J. (2019). Microplastic Ingestion by Riverine Macroinvertebrates. *Sci. Total Environ.* 646, 68–74. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.271.

Wright, S. L., Rowe, D., Thompson, R. C., and Galloway, T. S. (2013). Microplastic Ingestion Decreases Energy Reserves in marine *Worms*. *Curr. Biol.* 23 (23), R1031–R1033. doi:10.1016/j.cub.2013.10.068.

Wright, S. L. & Kelly, F. J. Plastic and human health: a micro issue? *Environ. Sci. Technol.* 51, 6634–6647 (2017).

Xiao W, Yin J, Pan Y, et al. (2022) Microplastics can affect the trophic cascade strength and stability of plankton ecosystems via behavior-mediated indirect interactions. *Journal of Hazardous Materials* 430: 128415. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.128415

Yardy, L., and Callaghan, A. (2020). What the Fluff Is This? - *Gammarus Pulex* Prefer Food Sources without Plastic Microfibers. *Sci. Total Environ.* 715,136815. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.136815.

Ziajahromi, S., Kumar, A., Neale, P.A., Leusch, F.D.L., 2018. Environmentally relevant concentrations of polyethylene microplastics negatively impact the survival, growth and emergence of sediment-dwelling invertebrates. *Environ. Pollut.* 236, 425–431.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.094>.

Zhang, X., and Chen, Z. (2014). Observing Phthalate Leaching From Plasticized Polymer Films at the Molecular Level. *Langmuir* 30, 4933–4944. doi:10.1021/la500476u

Zhang, Q. et al. A review of microplastics in table salt, drinking water, and air: direct human exposure. *Environ. Sci. Technol.* 54, 3740–3751 (2020).

Изготвили: д-р Виктория Монева и Красимира Захаријева,
ОРХВ, ЦОРХВ

Дата: 12.06.2023 г.



Други научни становища и актуална информация от областта на фуражите и фуражните добавки, на здравето и благосъстоянието на животните, антимикробната резистентност, замърсителите в храната, както и оценка на риска по цялата хранителна верига може да намерите на сайта на Центъра за оценка на риска по хранителната верига:

<http://corhv.government.bg/>

bit.ly/43RMaEm (Замърсители по хранителната верига)

<https://corhv.government.bg/Фуражни-добавки-продукти-и-субстанции-във-фуражи--с-97>

Както и следните материали на ЦОРХВ по темата:

Информация за микропластмаси и свързани с тях замърсители в храни и напитки

bit.ly/3J3K38w

Замърсяване на питейната вода с пластмасови микрочастици

bit.ly/3NnRw4B

Европейска стратегия за пластмаси

bit.ly/3JvS6ez

Научно-практическа конференция на тема: „Безопасност и екологичност на опаковките, предназначени да влизат в контакт с храни“ на 25 юли 2018 г.

bit.ly/45WkoDG

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56