



Microplastiques dans les eaux souterraines : zones inexplorées et risques environnementaux et sanitaires

Hiber Hafsa Imene¹; Toumi Houari ², Gaouar lotfi zakaria ³

1 . Laboratoire d'Hydrologie Bromatologie , Faculté de Médecine d'Oran - Algérie

2 . Laboratoire de Pharmacologie , Faculté de Médecine d'Oran ,

3 . Laboratoire d'Hydrologie Bromatologie , Faculté de Médecine d'Oran,

Résumé

Les microplastiques, ces particules de plastique de moins de 5 mm, constituent un polluant environnemental émergent. Même les eaux souterraines sont aujourd'hui contaminées par ces microplastiques, un problème d'actualité qui mérite toute notre attention.

Afin d'aborder la thématique sous ses différents aspects, une revue de littérature a été menée à partir des bases de données Scopus et PubMed, ainsi que via le moteur de recherche Google Scholar.

Les microplastiques, principalement sous forme de fibres et de fragments, composés majoritairement de PE, PP, PVC et PET, sont présents dans les eaux souterraines à des concentrations variables selon les sources de pollution. Ils proviennent essentiellement de l'infiltration de sols contaminés, de lixiviats de décharges, du ruissellement agricole, des eaux usées et des dépôts atmosphériques. Leur présence est avérée sur tous les continents, bien que les données restent limitées pour l'Afrique et l'Amérique du Sud. Parmi les données disponibles, l'abondance la plus élevée a été mesurée dans la péninsule de Jiaodong, en Chine, avec des concentrations allant de 87 à 6 832 particules/L, et une moyenne de 2 103 particules/L (Mu et al., 2022). Agissant comme vecteurs de métaux lourds et de polluants organiques, leur devenir à long terme dans les aquifères demeure incertain.

L'absence de protocoles standardisés et le manque de données pour de nombreuses zones géographiques entravent la comparaison des études et l'évaluation globale de la contamination, soulignant la nécessité d'investigations complémentaires pour mieux cerner les risques environnementaux et sanitaires.

Mots clés : Eaux souterraines , Pollution environnementale, Métaux lourds, Polluants organiques persistants.

. Microplastics in Groundwater: Unexplored Areas and Environmental and Health Risks

Abstract

Microplastics, plastic particles smaller than 5 mm, are an emerging environmental pollutant. Even groundwater is now contaminated with microplastics, an issue of growing concern that warrants urgent attention.

To address this topic from multiple perspectives, a literature review was conducted using the Scopus and PubMed databases, as well as the Google Scholar search engine.

Microplastics, mainly in the form of fibers and fragments and composed predominantly of PE, PP, PVC, and PET, are present in groundwater at concentrations that vary depending on pollution sources. They originate primarily from the infiltration of contaminated soils, landfill leachates, agricultural runoff, wastewater, and atmospheric deposition. Their presence has been confirmed on all continents, although data remain limited for Africa and South America. Among the available data, the highest abundance was recorded in the Jiaodong Peninsula, China, with concentrations ranging from 87 to 6,832 particles/L and an average of 2,103 particles/L (Mu et al., 2022). Acting as vectors for heavy metals and organic pollutants, the long-term fate of microplastics in aquifers remains uncertain.

The absence of standardized protocols and the lack of data for many geographical areas hinder the comparison of studies and the overall assessment of contamination, highlighting the need for further investigations to better understand environmental and human health risks.

Keywords: Groundwater, Environmental Pollution, Metals Heavy, Persistent Organic Pollutants .

¹ Corresponding author: hiberhi7@gmail.com

1. INTRODUCTION

La production mondiale de plastique a connu une grande croissance, passant de 2 millions de tonnes en 1950 à environ 380 millions de tonnes en 2015, avec des projections atteignant plusieurs centaines de millions de tonnes supplémentaires d'ici 2050 [1]. Cette expansion rapide a généré une accumulation massive de déchets plastiques dans l'environnement. Les microplastiques (MPs), définis comme des particules de taille inférieure à 5 mm, résultent de la fragmentation de ces déchets ou proviennent directement de produits manufacturés [1,2]. Ces particules sont désormais détectées dans tous les compartiments environnementaux : océans, rivières, lacs, sols, atmosphère et eaux souterraines [2-5].

Les eaux souterraines constituent un réservoir vital pour l'humanité, représentant environ 99% de l'ensemble des eaux liquides douces de la planète [6]. Elles fournissent actuellement la moitié du volume d'eau destiné à l'usage domestique de la population mondiale et environ 25% de toute l'eau prélevée pour l'irrigation [6]. Malgré leur importance stratégique, ces ressources restent largement sous-étudiées concernant la contamination par les microplastiques [7-9]. De multiples voies de transfert existent : infiltration à travers les sols, ruissellement, lixiviation des décharges et retombées atmosphériques [7-9]. Les microplastiques menacent les écosystèmes aquatiques et agissent comme vecteurs de polluants chimiques [2,4,5]. Leur persistance environnementale pose des défis majeurs pour la protection des ressources en eau [1,10]. L'analyse des microplastiques dans les matrices environnementales complexes se heurte à de nombreux défis méthodologiques, notamment la contamination potentielle en laboratoire, le choix de la taille de filtration et la variabilité des protocoles d'extraction [11,12].

Les recherches consacrées aux microplastiques dans les milieux souterrains restent limitées et dispersées, en particulier dans certaines régions du monde [7-9]. Deux questions critiques se posent : quelles sont les concentrations et les types de polymères présents dans les eaux souterraines à l'échelle mondiale ? Quels sont les risques écotoxicologiques et sanitaires associés ?

Cette revue vise à synthétiser les connaissances actuelles sur la présence, la dynamique et les impacts des microplastiques dans les eaux souterraines — un compartiment encore qualifié de « zone inexplorée » de la pollution plastique. Les objectifs spécifiques sont :

- (i) identifier les principales sources de contamination,
- (ii) analyser les mécanismes d'infiltration vers les aquifères,
- (iii) documenter les niveaux de contamination à l'échelle mondiale,
- (iv) évaluer les risques écologiques et sanitaires émergents.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Une recherche bibliographique systématique a été menée du 1^{er} septembre jusqu'au 28 octobre 2025 sur les bases de données PubMed, Scopus, Web of Science et ScienceDirect. Les mots-clés utilisés étaient : ("microplastics" OR "plastic particles") AND ("groundwater" OR "aquifers") AND ("contamination" OR "pollution") AND ("human health" OR "ecotoxicology"). Cette stratégie de recherche a permis d'identifier les études disponibles et de mettre en évidence les lacunes géographiques dans la littérature scientifique indexée.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Sources et caractérisation des microplastiques

Les microplastiques proviennent de multiples sources et présentent une grande diversité morphologique et chimique.

3.1.1. Principales sources

Les stations d'épuration relâchent fibres et fragments issus de textiles, emballages et cosmétiques, avec les polymères PE, PP, PS et PET comme dominants [13-15]. Les MPs secondaires résultent de la fragmentation de déchets plastiques sous l'effet des UV, de l'abrasion et du vieillissement [16,17]. Les fibres synthétiques

sont déposées par voie atmosphérique [18], tandis que l'épandage de boues d'épuration introduit d'importantes quantités de MPs dans les sols agricoles [15,17].

3.1.2. Caractéristiques physico-chimiques

Le tableau ci-dessous présente les principales propriétés physiques et chimiques des microplastiques.

Tableau 1. Propriétés des microplastiques dans l'environnement

Propriété	Détails	Références
Taille	< 5 mm, souvent < 500 µm	[11,13,14,19]
Forme	Fibres, fragments, films, billes	[13,14,18,19]
Polymères	PE, PP, PS, PET, PVC, nylon	[11,13,14,19]
Couleur	Blanc, transparent, coloré	[16,19]
Vieillessement	Indices de carbonyle et hydroxyle	[12,16]

3.1.3. Méthodes de caractérisation

La spectroscopie FT-IR et Raman identifie la nature chimique des polymères [11,12,14,19]. La microscopie électronique analyse la morphologie et la taille [12,19], tandis que le séquençage ADN étudie les communautés microbiennes associées [19,20].

3.2. Voies d'infiltration vers les eaux souterraines

3.2.1. Principales voies

Le tableau ci-dessous synthétise les principales voies d'infiltration des microplastiques vers les eaux souterraines, ainsi que les facteurs environnementaux qui favorisent leur transfert.

Tableau 2. Voies d'infiltration des microplastiques

Voie	Facteurs favorisants	Références
Infiltration directe	Sols sableux, fissures, fractures	[21,22]
Ruissellement pluvial	Zones de recharge	[21,22]
Irrigation Agricole	Films plastiques	[23]
Rivières	Aquifères alluviaux	[24,25]
Lixiviats	Décharges, eaux usées	[22]

3.2.2. Facteurs influençant la mobilité

Les MPs de petite taille ($< 100 \mu\text{m}$) migrent plus facilement dans les milieux poreux [25,26]. La distinction est importante : les particules $< 5 \mu\text{m}$ présentent une mobilité particulièrement élevée, comparable aux colloïdes, tandis que les particules plus grandes ($100\text{-}5\,000 \mu\text{m}$) sont plus susceptibles d'être retenues par filtration mécanique [25,26]. La perméabilité, la densité de fractures et les matières organiques du sol modifient la mobilité [21,22,26]. Les précipitations et irrigations accélèrent le transfert vertical [22,23], tandis que les activités anthropiques augmentent la charge en MPs [23,24].

3.2.3. Preuves expérimentales

Les MPs peuvent parcourir de longues distances dans les aquifères alluviaux [23,25]. Des modèles prédisent l'accumulation selon la profondeur et les pratiques agricoles [23,27].

3.3. Niveaux de contamination

Le tableau 3 présente les principales études documentant la contamination des eaux souterraines. Les concentrations varient considérablement selon les régions et les méthodes analytiques employées, soulignant l'importance de la standardisation méthodologique [11,12].

Tableau 3. Contamination des eaux souterraines par les microplastiques

Référence	Région	Méthode	Concentration (particules/L)	Polymères dominants
Samandra et al., 2022 [28]	Australie (Victoria, Bacchus Marsh)	LDIR	16–97 (moyenne : 38) ;	PE, PP, PS, PVC
Mu et al., 2022 [29]	Chine (péninsule de Jiaodong)	LDIR	87–6 832 (moyenne : 2 103) ; $>90\% < 100 \mu\text{m}$	PET, PU
Selvam et al., 2021 [30]	Inde (zone côtière, Tamil Nadu)	μ -FTIR, AFM	Jusqu'à 19,9 ; taille : 0,12–2,50 mm	PE, PP, polyamide
Panno et al., 2019 [31]	États-Unis (aquifères karstiques, Illinois)	Analyse chimique	Jusqu'à 15,2 (médiane : 6,4) ; toutes fibres	Non spécifié
Wu et al., 2022 [32]	Chine (Tianjin, zone d'eau potable)	μ -FTIR	17–44 ; 73,10% $< 200 \mu\text{m}$	PE, PET, PS
Perraki et al., 2024 [33]	Grèce (sud-est de l'Attique)	μ -Raman	16–513	PE, PP, PET, PS
Wisitthammasri et al., 2024 [34]	Thaïlande (décharge municipale, Rayong)	μ -FTIR	18–94 ; taille : 0,5–1 mm	PE, PP

Abréviations : PE : polyéthylène ; PP : polypropylène ; PS : polystyrène ; PVC : polychlorure de vinyle ; PET : polyéthylène téréphtalate ; PU : polyuréthane ; LDIR : Laser Direct Infrared ; μ -FTIR : micro-spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier ; μ -Raman : micro-spectroscopie Raman ; AFM : microscopie à force atomique.

Note méthodologique : La forte variabilité des concentrations entre études s'explique en partie par les différences méthodologiques. L'imagerie LDIR (Samandra, Mu) permet une détection systématique des

particules < 100 µm, tandis que la spectroscopie µ-FTIR et µ-Raman identifie chimiquement les polymères mais avec des seuils de détection variables. Les méthodes d'extraction, de filtration et de prévention de la contamination diffèrent également entre laboratoires [11,12].

3.3.1. Lacunes géographiques

Le tableau 3 révèle une distribution géographique déséquilibrée : la majorité des études indexées proviennent d'Europe et de Chine. L'Afrique et l'Amérique du Sud demeurent largement sous-représentées dans les bases de données scientifiques internationales malgré des pressions anthropiques significatives [8,9,35-37].

Afrique

La recherche bibliographique systématique (PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect ; période : jusqu'au 28/10/2025) n'a pas identifié étude spécifiquement dédiée aux MPs dans les eaux souterraines africaines. Les travaux disponibles en Algérie, Bénin, Cameroun et Côte d'Ivoire se concentrent sur la pollution chimique et bactérienne sans quantification des MPs [8,9,35-37]. Les méthodes DRASTIC et GOD évaluent la vulnérabilité des aquifères, mais les MPs restent inexplorés [8,9,35]. Cette absence de données indexées ne signifie pas nécessairement l'absence totale de recherches locales, mais souligne un déficit de publication dans les revues internationales à comité de lecture.

Amérique du Sud

Notre recherche documentaire n'a pas recensé de publication indexée traitant spécifiquement des MPs dans les eaux souterraines sud-américaines dans les bases consultées. Cette lacune est préoccupante compte tenu de l'importance des nappes pour l'approvisionnement en eau potable dans cette région.

Tableau 4. Lacunes géographiques dans la littérature scientifique indexée

Région	Publications MPs	Pollution étudiée	Références	Bases consultées
Afrique	Très peu indexées	Chimique, bactérienne	[8,9,35-37]	PubMed, Scopus, WoS, SD
Amérique du Sud	Non identifiées	Eaux de surface	—	PubMed, Scopus, WoS, SD
Asie (hors Chine/Inde)	Limitées	Variable	[34]	PubMed, Scopus, WoS, SD

Note : WoS = Web of Science ; SD = ScienceDirect. Recherche effectuée jusqu'au 28/10/2025.

3.4. Risques environnementaux

L'ingestion de MPs entraîne des dommages cellulaires, un stress oxydatif et une mortalité accrue chez les organismes aquatiques [38,39]. Les MPs agissent comme vecteurs de polluants organiques et métaux lourds, facilitant la bioaccumulation [39]. Ils perturbent les cycles du carbone et des nutriments, compromettant la résilience des écosystèmes [38,39].

3.5. Risques sur la santé humaine

L'exposition aux MPs se fait par ingestion et inhalation via l'eau potable, les aliments et l'air [40,41]. Ils s'accumulent dans le sang, les poumons, le placenta et l'intestin [40,42].

Les effets multi-organes incluent : altération de la barrière intestinale et perturbation du microbiote [40,43] ; stress oxydatif et inflammation respiratoire [44] ; dommages hématopoïétiques [45] ; toxicité hépatique et rénale [40,46]. Les effets reproductifs comprennent baisse de fertilité, altérations de la gamétogenèse, perturbations hormonales et effets transgénérationnels [42,47-49].

Les mécanismes impliquent stress oxydatif, inflammation, apoptose et perturbation endocrinienne [40-46,48,49]. Ces résultats proviennent d'études animales avec des doses parfois supérieures à l'exposition

humaine. Des études épidémiologiques sont nécessaires pour confirmer les effets et établir des seuils sécuritaires.

4. CONCLUSION

Cette revue révèle une contamination généralisée des eaux souterraines par les microplastiques, avec des concentrations variant de quelques à plusieurs milliers de particules par litre. Les polymères PE, PP, PS et PET dominant, principalement sous forme de fibres et fragments (< 500 µm).

Les voies d'infiltration identifiées incluent l'infiltration directe, le ruissellement, l'irrigation agricole, le transfert fluvial et la lixiviation. La mobilité dépend de la taille des MPs, des propriétés du sol, des conditions hydriques et des activités anthropiques. Les risques environnementaux comprennent la toxicité pour les organismes aquatiques, la bioaccumulation et la perturbation des cycles biogéochimiques. Les risques sanitaires, documentés sur modèles animaux, incluent des effets digestifs, respiratoires, hématopoïétiques, hépatiques, rénaux et reproductifs.

Toutefois, des lacunes majeures persistent. La distribution géographique des recherches est déséquilibrée, avec une quasi-absence de données pour l'Afrique et l'Amérique du Sud. Certains types d'aquifères (profonds, multicouches, volcaniques) restent sous-étudiés. Les défis méthodologiques persistent concernant la standardisation des protocoles et la prévention de la contamination en laboratoire.

Les axes prioritaires incluent :

- (i) développer des programmes d'échantillonnage dans les régions sous-étudiées ;
- (ii) standardiser les méthodologies analytiques ;
- (iii) étudier les mécanismes de transport dans différents aquifères ;
- (iv) conduire des études épidémiologiques à long terme ;
- (v) investiguer les effets combinés des MPs avec d'autres polluants ;
- (vi) développer des technologies de traitement efficaces.

La protection des eaux souterraines nécessite une approche intégrée : réduction à la source, amélioration du traitement des eaux usées et lixiviats, gestion durable des pratiques agricoles, et renforcement des cadres réglementaires. L'établissement de normes de qualité pour les MPs dans l'eau potable apparaît désormais nécessaire pour la protection de la santé publique et la préservation de cette ressource vitale.

RÉFÉRENCES

- [1] Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv*. 2017;3(7):e1700782.
- [2] Hu K, Yang Y, Zuo J, Tian W, Wang Y, Duan X, et al. Emerging microplastics in the environment: Properties, distributions, and impacts. *Chemosphere*. 2022;297:134118.
- [3] Auta HS, Emenike CU, Fauziah SH. Distribution and importance of microplastics in the marine environment. *Environ Int*. 2017;102:165-176.
- [4] Koutnik VS, Leonard J, Alkidim S, DePrima FJ, Ravi S, Hoek EMV, et al. Distribution of microplastics in soil and freshwater environments. *Environ Pollut*. 2021;274:116552.
- [5] Kye H, Kim J, Ju S, Lee J, Lim C, Yoon Y. Microplastics in water systems: A review. *Heliyon*. 2023;9(3):e14359.
- [6] UNESCO. Groundwater: Making the invisible visible. World Water Development Report 2022. Paris: UNESCO; 2022.
- [7] Josse RG, Toklo RM, Dossou-Yovo P, Fatombi JK, Senou SF, Topanou N. Corrélation entre les lixiviats et les eaux souterraines au Bénin. *Int J Biol Chem Sci*. 2016;10(2):875-883.
- [8] Latifi S, Chaab S. Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en Algérie. *Synthese*. 2017;34:48-62.
- [9] Mehdi M, Djabri L, Hani A, Belabed BE. Impacts de la décharge de Tiaret sur la qualité des eaux. *Synthese*. 2007;16:64-73.
- [10] Williams AT, Rangel-Buitrago N. The past, present, and future of plastic pollution. *Mar Pollut Bull*. 2022;176:113429.
- [11] Mintenig SM, Int-Veen I, Löder MGJ, Primpke S, Gerdts G. Microplastic in effluents of waste water treatment plants. *Water Res*. 2017;108:365-372.
- [12] Moura DS, Pestana CJ, Moffat CF, Hui J, Irvine JTS, Lawton LA. Characterisation of microplastics. *Chemosphere*. 2023;333:138691.
- [13] Wang F, Wang B, Duan L, Zhang Y, Zhou Y, Sui Q, et al. Microplastics in wastewater sources in China. *Water Res*. 2020;182:115956.
- [14] Phuong NN, Poirier L, Lagarde F, Kamari A, Zalouk-Vernoux A. Microplastic in coastal sediments. *Environ Pollut*. 2018;243(Pt A):228-237.
- [15] Gao D, Li XY, Liu HT. Microplastics in sewage sludge. *Sci Total Environ*. 2020;742:140355.
- [16] Guruge KS, Goswami P, Kanda K, Abeynayaka A, Kumagai M, Watanabe M, et al. Plastiome in aquatic environments. *J Hazard Mater*. 2024;471:134353.
- [17] Tian L, Chen J, Ji R, Ma Y, Yu X. Microplastics in agricultural soils. *Curr Opin Environ Sci Health*. 2021;23:100311.
- [18] Dris R, Gaspéri J, Saad M, Mirande C, Tassin B. Synthetic fibers in atmospheric fallout. *Mar Pollut Bull*. 2016;104(1-2):290-293.
- [19] Frère L, Maignien L, Chalopin M, Huvet A, Rinnert E, Morrison H, et al. Microplastic bacterial communities in the Bay of Brest. *Environ Pollut*. 2018;242(Pt A):614-625.

- [20] Yu X, Zhang Y, Tan L, Han C, Li H, Zhai L, et al. Microplastisphere and antibiotic resistance genes. *Environ Pollut.* 2022;310:119891.
- [21] Ali I, Konaté M. Zones de recharge des eaux au Niger. *Eur Sci J.* 2020;16(18).
- [22] Baali F, Rouabhia A, Kherici N, Djabri L, Bouchaou L, Hani A. Qualité des eaux souterraines en Algérie. *Estud Geol.* 2007;63:127-133.
- [23] Zhao Z, Zhao K, Zhang T, Xu Y, Chen R, Xue S, et al. Microplastic vertical transport in soil. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2022;247:114232.
- [24] André-Marie WM, Vallier M, Mermillod-Blondin F, Mourier B, Piegay H, Winiarski T, et al. Microplastic transport in rivers. 2022.
- [25] Goeppert N, Goldscheider N. Microplastic tracers in alluvial aquifer. *J Hazard Mater.* 2021;408:124844.
- [26] Song Z, Yang X, Chen F, Zhao F, Zhao Y, Ruan L, et al. Nanoplastics transport in aquifer media. *Sci Total Environ.* 2019;669:120-128.
- [27] Yang X, Tang DWS. Modeling microplastic transport through porous media. *J Hazard Mater.* 2024;484:136728.
- [28] Samandra S, Johnston JM, Jaeger JE, Symons B, Xie S, Currell M, et al. Microplastic in groundwater in Australia. *Sci Total Environ.* 2022;802:149727.
- [29] Mu H, Wang Y, Zhang H, Guo F, Li A, Zhang S, et al. Microplastics in groundwater in China. *Sci Total Environ.* 2022;839:156318.
- [30] Selvam S, Jesuraja K, Venkatramanan S, Roy PD, Kumari VJ. Microplastic as vector of heavy metals in India. *J Hazard Mater.* 2021;402:123786.
- [31] Panno SV, Kelly WR, Scott J, Zheng W, McNeish RE, Holm N, et al. Microplastic in karst groundwater. *Groundwater.* 2019;57(2):189-196.
- [32] Wu B, Li LW, Zu YX, Nan J, Chen XQ, Sun K, et al. Microplastics in drinking-water source in China. *Environ Res.* 2022;214(Pt 3):114048.
- [33] Perraki M, Skliros V, Mecaj P, Vasileiou E, Salmas C, Papanikolaou I, et al. Microplastics in groundwater in Greece. *Water.* 2022;16(6):843.
- [34] Wisitthammassri W, Promduang P, Chotpanarat S. Microplastics at municipal landfill in Thailand. *J Contam Hydrol.* 2024;267:104455.
- [35] Dovonou FE, Alassane A, Adjahossou V, Agbodo BE, Djibril R, Mama D. Impacts de l'assainissement autonome sur la qualité des eaux de puits au Bénin. *Int J Biol Chem Sci.* 2018;11(6):3086-3099.
- [36] Koji E, Tchakonté I, Missoup DM, Onana FM, Fobane JL, Nola M. Qualité des eaux du fleuve Ntem au Cameroun. *Int J Biol Chem Sci.* 2022;16(4):1749-1764.
- [37] Gbamélé Kouassi S, Konan Kouakou S, Kouassi Kouakou L, Brou Loukou A, Konan Koffi F, Dongui BK. Contamination des eaux souterraines en Côte d'Ivoire. *Eur Sci J.* 2020;16(6):248.
- [38] Amaneesh C, Anna Balan S, Silpa PS, Kim JW, Greeshma K, Aswathi Mohan A, et al. Impacts of microplastics on phytoplankton. *Environ Sci Technol.* 2023;57(1):5-24.
- [39] Barletta M, Lima ARA, Costa MF. Microplastics in South American estuaries. *Sci Total Environ.* 2019;651(Pt 1):1199-1218.
- [40] Wu P, Lin S, Cao G, Wu J, Jin H, Wang C, et al. Toxicity of microplastics in the human body. *J Hazard Mater.* 2022;437:129361.
- [41] Bai CL, Liu LY, Hu YB, Zeng EY, Guo Y. Microplastics in food. *Sci Total Environ.* 2021;806(Pt 1):150263.
- [42] Dubey I, Khan S, Kushwaha S. Reproductive toxic effects of microplastics. *Front Toxicol.* 2022;4:901798.
- [43] Chen X, Zhuang J, Chen Q, Xu L, Yue X, Qiao D. PVC microplastics induced gut barrier dysfunction in mice. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2022;241:113809.
- [44] Dong C, Chen CW, Chen YC, Chen HH, Lee JS, Lin CH. Polystyrene microplastic pulmonary toxicity. *J Hazard Mater.* 2020;385:121575.
- [45] Jing J, Zhang L, Han L, Wang J, Zhang W, Liu ZY, et al. Microplastics induced hematopoietic damages. *Environ Int.* 2022;161:107131.
- [46] Li S, Gu X, Zhang M, Jiang Q, Xu T. Microplastics caused kidney inflammation in mice. *Sci Total Environ.* 2024;922:171817.
- [47] Jin H, Yan M, Pan C, Liu Z, Sha X, Jiang CH, et al. Microplastics induced male reproductive toxicity in mice. *Part Fibre Toxicol.* 2022;19:13.
- [48] Zhang Y, Wang X, Zhao Y, Zhao J, Yu T, Yao Y, et al. Reproductive toxicity in female mice. *Environ Pollut.* 2023;327:121482.
- [49] Zhao T, Shen L, Ye X, Bai G, Liao C, Chen Z, et al. Microplastics affects male fertility in mice. *J Hazard Mater.* 2023;445:130544.