

**BIDANG FOKUS:
LIMBAH & HASIL SAMPING PETERNAKAN
TEKNOLOGI HASIL TERNAK**

Identifikasi Kontaminasi Mikroplastik Pada Kompos Berbahan Dasar Limbah Kotoran Ternak Tertentu

Adi Sutanto¹, Wahyu Widodo¹, Imbang Dwi Rahayu¹, Iswahyudi Iswahyudi², Marchel Putra Garfansa², Yenni Arista Cipta Ekalaturrahmah²

¹Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian Peternakan, Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No.246, Malang, 65145, Jawa Timur, Indonesia
email : sutanto@umm.ac.id

²Fakultas Pertanian, Universitas Islam Madura
Jl. Ponpes Miftahul Ulum Bettet, Pamekasan, 69361, Jawa Timur, Indonesia

ABSTRAK

Kontaminasi mikroplastik (MPs) pada kompos yang dihasilkan dari limbah kotoran ternak menjadi fokus penelitian ini. Limbah kotoran ternak, yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan industri peternakan, seringkali diolah menjadi kompos sebagai upaya mengurangi dampak lingkungan. Namun, potensi kontaminasi MPs dalam produk kompos tersebut belum sepenuhnya dipahami. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis dan konsentrasi MPs dalam kompos berbahan dasar limbah kotoran ternak. Penelitian ini menganalisis literatur tentang keberadaan MPs pada kotoran ternak dan unggas serta kompos berbahan kotoran hewan. Hasil analisis menyatakan bahwa ditemukan MPs pada kotoran hewan (ayam, babi, sapi, dan domba), yang merupakan manifestasi dari paparan hewan dari beberapa sumber. Bentuk MPs pada kotoran hewan yang ditemukan adalah Serat, fragmen & film. Jenis MPs pada kotoran hewan adalah PP, PES, PE, PS, PR & Rayon, serta kelimpahan MPs pada kotoran hewan 0,1298 - 1250 ± 640 partikel/kg. Selanjutnya kontaminasi MPs pada kompos berbahan kotoran hewan terdapat dua jenis kotoran yaitu kotoran ayam dan kotoran hewan campuran. Kelimpahan MPs pada kompos sebesar 115 - 14.720 ± 2.468 partikel kg⁻¹, serta jenis partikel yang ditemukan PE & PP. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih mendalam tentang potensi risiko kontaminasi MPs dalam kompos berbahan dasar limbah kotoran ternak. Implikasi hasil penelitian ini akan membantu merumuskan strategi pengelolaan limbah peternakan yang lebih berkelanjutan dan menentukan langkah-langkah perlindungan lingkungan yang lebih efektif. Temuan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengetahuan global tentang dampak MPs dalam pertanian dan peternakan serta menjadi landasan ilmiah bagi kebijakan perlindungan lingkungan yang lebih holistik.

Kata Kunci : Mikroplastik, Kotoran Ternak, Kompos

ABSTRACT

Microplastic (MPs) contamination in compost produced from livestock waste is the focus of this research. Livestock waste, which is increasing along with the growth of the livestock industry, is often processed into compost in an effort to reduce environmental impacts. However, the potential for MPs contamination in these compost products is not fully understood. This research aims to identify the type and concentration of MPs in compost made from livestock waste. This research analyzes literature on the presence of MPs in livestock and poultry manure and compost made from animal manure. The results of the analysis stated that MPs were found in animal feces (chicken, pig, cow and sheep), which is a manifestation of animal exposure from several sources. The forms of MPs found in animal waste are fibers, fragments & films. The types of MPs in animal waste are PP, PES, PE, PS, PR & Rayon, and the abundance of MPs in animal waste is 0.1298 - 1250 ± 640 particles/kg. Furthermore, there are two types of MPs contamination in compost made from animal waste, namely chicken manure and mixed animal manure. The abundance of MPs in compost was 115 - 14,720 ± 2,468 particles kg⁻¹, and the types of particles found were PE & PP. This research is expected to provide a deeper understanding of the potential risk of MPs contamination in compost made from livestock waste. The implications of the results of this research will help formulate a more sustainable livestock waste management strategy and determine more effective environmental protection measures. It is hoped that the findings of this research will contribute to global knowledge about the impact of MPs in agriculture and animal husbandry and provide a scientific basis for more holistic environmental protection policies.

Keywords: Microplastics, Livestock waste, Compost.

PENDAHULUAN

Limbah kotoran ternak telah menjadi salah satu tantangan lingkungan yang signifikan di berbagai wilayah, terutama dengan meningkatnya produksi peternakan (Khoshnevisan et al., 2021). Salah satu aspek yang kurang dipahami dari dampak limbah kotoran ternak adalah kontaminasi mikroplastik (MPs) yang dapat terjadi dalam kompos yang dihasilkan dari pengolahan limbah tersebut (Wu et al., 2021). MPs, partikel plastik dengan ukuran kurang dari 5 mm, telah menjadi fokus penelitian global karena potensinya untuk menyebabkan dampak lingkungan dan kesehatan manusia (Aini et al., 2022).

Pada umumnya, limbah kotoran ternak diolah menjadi kompos untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan (Ayilara et al., 2020). Namun, sedikit perhatian diberikan pada potensi kontaminasi MPs dalam kompos yang dihasilkan dari bahan dasar limbah kotoran ternak (Iswahyudi et al., 2023). MPs dapat masuk ke dalam rantai makanan melalui tanaman yang tumbuh di tanah yang terkontaminasi atau melalui air yang tercemar (Campanale et al., 2022). Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang sejauh mana MPs dapat terbentuk dan bertahan dalam kompos berbahan dasar limbah kotoran ternak menjadi sangat penting.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis dan konsentrasi MPs yang mungkin terkandung dalam kompos yang dihasilkan dari limbah kotoran ternak. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman lebih mendalam tentang konsentrasi kontaminasi MPs dalam produk kompos yang dihasilkan dari limbah kotoran ternak, sehingga dapat merumuskan strategi pengelolaan yang lebih efektif untuk meminimalkan kontaminasinya. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pemahaman global tentang permasalahan MPs dan memberikan dasar ilmiah bagi kebijakan perlindungan lingkungan yang lebih baik.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diambil dengan mencari di Web of Science, Scopus, Google Scholar, dan makalah Connected. Kata kunci yang digunakan adalah "Mikroplastik dan Kotoran atau Kotoran". Nama masing-masing hewan (misalnya ayam, kambing, domba, sapi, babi) juga digunakan bersama dengan istilah penelusuran umum. Kata kunci tambahan seperti "Mikroplastik dan pengomposan,

pencernaan anaerobik" dan metode pengolahan kotoran lainnya juga digunakan. Nama-nama spesies tertentu dimasukkan selama pencarian literatur (misalnya mikroplastik dalam pengomposan kotoran babi). Tidak ada batasan pada tahun penerbitan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kelimpahan MPs, bentuk, dan jenis polimer dalam kotoran hewan

Penelitian MPs mengenai kotoran unggas dan ternak masih merupakan bidang yang relatif baru karena terbatasnya literatur yang berfokus terutama pada kotoran ayam dan babi, dan pada tingkat yang lebih rendah pada kotoran domba dan sapi. Tabel 1 menyajikan data tentang kontaminasi MPs pada kotoran ternak mulai tahun 2017-2023.

Tabel 1. MPs dalam kotoran hewan ternak

Ternak	Bentuk MPs	Kelimpahan Partikel	Jenis MPs	Ref
Ayam	Serat	0,1298 partikel/kg	PE & PS	(Huerta-Lwanga et al., 2017)
Ayam	Serat Nilon	-	-	(Yan et al., 2020)
Babi	Serat, fragmen & film	1250 ± 640 partikel/kg	PP, PES, PE & Rayon	(Yang et al., 2021)
Ayam	Serat & fragmen	6,67 × 10 ² ± 9,90 × 10 ² partikel/kg ⁻¹	PP, PR, PET & PE	(Wu et al., 2021)
Sapi	-	7.40 × 10 ¹ ± 1.29 × 10 ² partikel/kg ⁻¹	-	(Wu et al., 2021)
Domba	-	997 ± 971 partikel/kg ⁻¹	PE	(Beriot et al., 2021)
Babi	-	9.02 × 10 ² ± 1.29 × 10 ³ partikel/kg ⁻¹	-	(Wu et al., 2021)
Ternak	Serat & fragmen	0,0015 partikel/kg	-	(Beni et al., 2023)

Keterangan : Polyethylene (PE), Polystyrene (PS), polypropylene (PP), Polieter Sulfon (PES), Polietilen tereftalat (PET)

Ada beberapa penelitian (pada saat artikel ini ditulis) yang secara khusus menyelidiki keberadaan MPs pada kotoran unggas dan ternak. Seperti disajikan pada Tabel 1, MPs terdeteksi pada kotoran ayam di Campeche, Meksiko (Huerta-Lwanga et al., 2017). Serat nilon dan MPs PET juga ditemukan pada sampel tinja ayam di Nanjing, Cina (Yan et al., 2020). Studi lain tentang MPs

di peternakan unggas dan peternakan di provinsi Guangdong dan Guangxi di Tiongkok menemukan tingginya jumlah MPs di berbagai kotoran hewan (Wu et al., 2021). Konsentrasi MPs tertinggi yang terdeteksi untuk berbagai jenis kotoran adalah $3,78 \times 10^3$ item/kg⁻¹ berat basah (ww) (34 partikel MPs) pada kotoran babi, $3,00 \times 10^3$ partikel/kg⁻¹ ww (27 partikel MPs) pada kotoran ayam, dan $2,23 \times 10^2$ partikel/kg⁻¹ ww (2 partikel MPs) pada kotoran sapi (Wu et al., 2021). Konsentrasi MPs adalah 1120/10 g dalam kotoran babi yang dipelihara di dekat lokasi pembuangan lumpur di Tiongkok (Hua et al., 2021). Di wilayah Murcia, Spanyol, MPs dari mulsa berkepadatan ringan terdeteksi pada kotoran lima kawanan domba berbeda (Beriot et al., 2021).

Sangat mungkin bahwa cara pencernaan hewan ternak yang berbeda dapat mempengaruhi ekskresi MPs. Misalnya, MPs tidak terdeteksi dalam pupuk kotoran sapi dalam sebuah penelitian baru-baru ini, dan diperkirakan bahwa proses pencernaan yang lama pada sapi dapat menyebabkan MPs tercerna seluruhnya di usus sapi (Zhang et al., 2022b). Di Meksiko, MPs hanya ditemukan pada ampela dan feses sedangkan pada tanaman ayam hanya ditemukan makroplastik (>5 mm) sebanyak 83,55% (Huerta-Lwanga et al., 2017). Pada ayam, hasil panen ditemukan pada awal sistem pencernaan, sehingga terlihat jelas bahwa makroplastik terurai menjadi MPs selama proses pencernaan. Hal ini mungkin menjadi penyebab ditemukannya MPs pada kotoran ternak. Sekali lagi, jika dibandingkan dengan sistem pencernaan sapi dan ayam, ayam merupakan hewan poligastrik dengan lambung multikompartemen, tidak seperti ayam yang merupakan hewan monogastrik yang memiliki lambung tunggal. Pencernaan pada hewan poligastrik (banyak perut) membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan pada hewan monogastrik (Sheriff et al., 2023). Alasan lainnya mungkin karena kebiasaan makan hewan tersebut karena sapi dan domba memakan rumput segar atau kering, kambing dapat memakan bagian bawah tanah tanaman dan menelan MPs tanah, serta ayam dan babi termasuk hewan omnivora yang menyediakan banyak jalur bagi MPs. proses menelan. Memang benar, penelitian di masa depan harus mempertimbangkan hubungan antara cara pencernaan dan kandungan MPs dalam kotoran mentah.

2. Kelimpahan MPs, dan jenis polimer dalam kompos

Data terbaru mengenai polusi MPs dari kompos dan penerapannya pada tanah telah

menyoroti potensi dampak mikropolutan yang dapat berpindah dari kompos. Tabel 2 menyajikan data tentang kontaminasi MPs pada kompos berbahan kotoran ternak.

Tabel 2. MPs dalam kompos berbahan kotoran hewan

Sumber	Kelimpahan	Polimer	Ref
Kotoran Ayam	14.720 ± 2.468 partikel/kg ⁻¹	PE & PP	(Zhang et al., 2022a)
Kotoran Hewan	115 partikel/kg ⁻¹	PE & PP	(Wu et al., 2021)

Menurut penelitian sebelumnya, Piehl et al. (2018) menemukan munculnya MPs pada tanah pertanian konvensional. Salah satu penyebab munculnya hal ini adalah penggunaan kompos yang terbuat dari sampah organik, kotoran ternak, dan biosolid (Xiang et al., 2022). Secara umum, polietilen merupakan jenis polimer yang paling umum, diikuti oleh polipropilena. Kemungkinan kontaminasi MPs akan lebih tinggi di area yang menggunakan plastik pertanian, seperti rumah kaca, mulsa, atau film silase, atau pupuk yang mengandung plastik (limbah lumpur, kompos biowaste) (Scopetani et al., 2022). Penerapan kompos sampah organik kota dan lumpur limbah dalam agroekosistem meningkatkan kesuburan tanah tetapi juga dapat menjadi sumber MPs (van Schothorst et al., 2021). Penggunaan kompos tahunan sebesar 4,07 juta ton di bidang pertanian dan hortikultura di Jerman diperkirakan menghasilkan 817 ton MPs (Blanke, 2020).

3. Potensi dampak penerapan kompos terkontaminasi MPs pada tanaman

Dampak penerapan kompos terkontaminasi MPs pada tanaman dapat mencakup berbagai aspek yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman, ekosistem tanah, dan bahkan kesehatan manusia. Pada kualitas tanah akan dapat memengaruhi sifat fisik dan kimia tanah. Partikel MPs dapat memperburuk struktur tanah, mengurangi kapasitas pertukaran ion, dan mempengaruhi retensi air. Hal ini dapat memengaruhi ketersediaan nutrisi dan pertumbuhan tanaman. MPs dapat memengaruhi kehidupan tanah, termasuk mikroorganisme dan makrofauna. Dalam ekosistem tanah, MPs dapat menjadi sumber polusi yang dapat memengaruhi fungsi ekosistem secara keseluruhan (Accinelli et al., 2022).

Pada pertumbuhan tanaman, MPs dalam tanah dapat memengaruhi penyerapan nutrisi oleh tanaman. Ini dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, termasuk ukuran dan kualitas hasil pertanian. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa paparan MPs dapat menghambat pertumbuhan akar tanaman (Chang et al., 2022). Tanaman juga dapat menyerap MPs melalui akar dan mengakumulasinya dalam berbagai bagian tanaman. Hasil pertanian yang dikonsumsi manusia, seperti buah-buahan dan sayuran, dapat mengandung konsentrasi MPs yang dapat memasuki rantai makanan (Aydın et al., 2023).

Jika MPs terakumulasi dalam hasil pertanian yang dikonsumsi manusia, ada potensi risiko kesehatan. Meskipun dampak kesehatan dari paparan MPs masih dalam penelitian, beberapa penelitian menunjukkan potensi risiko terkait dengan gangguan endokrin dan peradangan (Ahmad, 2023). MPs yang masuk ke dalam tanah melalui kompos dapat menjadi bagian dari lingkaran biogeokimia global, mempengaruhi ekosistem air dan tanah yang lebih luas.

Penting untuk dicatat bahwa dampak penerapan kompos terkontaminasi MPs pada tanaman masih menjadi area penelitian yang terus berkembang. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami mekanisme interaksi antara MPs dan tanaman, serta untuk mengembangkan metode pengelolaan limbah organik yang minim risiko terkait MPs. Selain itu, penting untuk menerapkan praktik-praktik yang berkelanjutan dalam produksi dan penggunaan kompos guna meminimalkan risiko kontaminasi MPs.

KESIMPULAN

Limbah merupakan faktor penentu utama paparan MPs pada hewan ternak. Penelitian yang dianalisis di sini telah mengkonfirmasi adanya MPs pada kotoran hewan (ayam, babi, sapi, dan domba), yang merupakan manifestasi dari paparan hewan dari beberapa sumber. Bentuk MPs pada kotoran hewan yang ditemukan adalah Serat, fragmen & film. Jenis MPs pada kotoran hewan adalah PP, PES, PE, PS, PR & Rayon, serta kelimpahan MPs pada kotoran hewan $0,1298 - 1250 \pm 640$ partikel/kg. Selanjutnya kontaminasi MPs pada kompos berbahan kotoran hewan terdapat dua jenis kotoran yaitu kotoran ayam dan kotoran hewan campuran. Kelimpahan MPs pada kompos sebesar $115 - 14.720 \pm 2.468$ partikel kg^{-1} , serta jenis partikel yang ditemukan PE & PP.

DAFTAR PUSTAKA

- Accinelli, C., Abbas, H. K., Bruno, V., Khambhati, V. H., Little, N. S., Bellaloui, N., & Shier, W. T. 2022. Field studies on the deterioration of microplastic films from ultra-thin compostable bags in soil. *Journal of Environmental Management*, 305, 114407. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114407>
- Ahmad, K. J. (2023). Effect of Microplastic on the Human Health. In S. Prof. El-Sayed (Ed.), *Advances and Challenges in Microplastics* (pp. Ch. 24). Rijeka: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107149>
- Aini, S. A., Syafiuddin, A., & Bent, G.-A. 2022. The presence of microplastics in air environment and their potential impacts on health. *Environmental and Toxicology Management*, 2(1), 31-39. <https://doi.org/10.33086/etm.v2i1.2900>
- Aydın, R. B., Yozukmaz, A., Şener, İ., Temiz, F., & Giannetto, D. (2023). Occurrence of Microplastics in Most Consumed Fruits and Vegetables from Turkey and Public Risk Assessment for Consumers. *Life*, 13(8). doi:<https://doi.org/10.3390/life13081686>
- Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. 2020. Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114456>
- Beni, N. N., Karimifard, S., Gilley, J., Messer, T., Schmidt, A., & Bartelt-Hunt, S. 2023. Higher concentrations of microplastics in runoff from biosolid-amended croplands than manure-amended croplands. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 42. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00691-y>
- Beriot, N., Peek, J., Zornoza, R., Geissen, V., & Huerta Lwanga, E. 2021. Low density-microplastics detected in sheep faeces and soil: A case study from the intensive vegetable farming in Southeast Spain. *Science of The Total Environment*, 755, 142653. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142653>
- Blanke, M. 2020. GKL Tagung zur Bestandesaufnahme von Mikro- und Makroplastik im Gartenbau. *Erwerbs-Obstbau*, 62(4), 489-497. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00529-3>

- Campanale, C., Galafassi, S., Savino, I., Massarelli, C., Ancona, V., Volta, P., & Uricchio, V. F. 2022. Microplastics pollution in the terrestrial environments: Poorly known diffuse sources and implications for plants. *Science of The Total Environment*, 805, 150431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150431>
- Chang, X., Fang, Y., Wang, Y., Wang, F., Shang, L., & Zhong, R. 2022. Microplastic pollution in soils, plants, and animals: A review of distributions, effects and potential mechanisms. *Science of The Total Environment*, 850, 157857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157857>
- Hua, Z.-g., LI, L., & NA, J. 2021. Microplastics detected in intestinal tissue of a pig raised near a sludge dump site: a pilot study. *Chin. J. Public Health*, 37(3), 455-460. <https://doi.org/10.11847/zgggws1134513-new>
- Huerta-Lwanga, E., Mendoza Vega, J., Ku Quej, V., Chi, J. d. I. A., Sanchez del Cid, L., Chi, C., Escalona Segura, G., Gertsen, H., Salánki, T., van der Ploeg, M., Koelmans, A. A., & Geissen, V. 2017. Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. *Scientific Reports*, 7(1), 14071. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14588-2>
- Iswahyudi, I., Widodo, W. W., Warkoyo, Setyobudi, R. H., Sutanto, A., Wedyan, M., Anwar, S., Garfansa, M. P., Ekalaturrahmah, Y. A. C., Yunita, E., & Sustiyana, S. (2023). *Bibliometric Analysis on Contaminant Microplastics in Compost (2018 to 2022) Through VOSviewer*. Paper presented at the E3S Web of Conferences. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/69/e3sconf_iconbeat2023_00015/e3sconf_iconbeat2023_00015.html
- Khoshnevisan, B., Duan, N., Tsapekos, P., Awasthi, M. K., Liu, Z., Mohammadi, A., Angelidaki, I., Tsang, D. C. W., Zhang, Z., Pan, J., Ma, L., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., & Liu, H. 2021. A critical review on livestock manure biorefinery technologies: Sustainability, challenges, and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110033. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110033>
- Piehl, S., Leibner, A., Löder, M. G. J., Dris, R., Bogner, C., & Laforsch, C. 2018. Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36172-y>
- Scopetani, C., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Martellini, T., Leiniö, V., & Pellinen, J. 2022. Hazardous contaminants in plastics contained in compost and agricultural soil. *Chemosphere*, 293, 133645. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133645>
- Sheriff, I., Yusoff, M. S., Manan, T. S. B. A., & Koroma, M. 2023. Microplastics in manure: Sources, analytical methods, toxicodynamic, and toxicokinetic endpoints in livestock and poultry. *Environmental Advances*, 12, 100372. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100372>
- van Schothorst, B., Beriot, N., Huerta Lwanga, E., & Geissen, V. 2021. Sources of Light Density Microplastic Related to Two Agricultural Practices: The Use of Compost and Plastic Mulch. *Environments*, 8(4), 36. <https://doi.org/10.3390/environments8040036>
- Wu, R.-T., Cai, Y.-F., Chen, Y.-X., Yang, Y.-W., Xing, S.-C., & Liao, X.-D. 2021. Occurrence of microplastic in livestock and poultry manure in South China. *Environmental Pollution*, 277, 116790. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116790>
- Xiang, Y., Jiang, L., Zhou, Y., Luo, Z., Zhi, D., Yang, J., & Lam, S. S. 2022. Microplastics and environmental pollutants: Key interaction and toxicology in aquatic and soil environments. *Journal of Hazardous Materials*, 422, 126843. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126843>
- Yan, Z., Zhao, H., Zhao, Y., Zhu, Q., Qiao, R., Ren, H., & Zhang, Y. 2020. An efficient method for extracting microplastics from feces of different species. *Journal of Hazardous Materials*, 384, 121489. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121489>
- Yang, J., Li, R., Zhou, Q., Li, L., Li, Y., Tu, C., Zhao, X., Xiong, K., Christie, P., & Luo, Y. 2021. Abundance and morphology of microplastics in an agricultural soil following long-term repeated application of pig manure. *Environmental Pollution*, 272, 116028. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116028>

- Zhang, J., Wang, X., Xue, W., Xu, L., Ding, W., Zhao, M., Liu, S., Zou, G., & Chen, Y. 2022a. Microplastics pollution in soil increases dramatically with long-term application of organic composts in a wheat–maize rotation. *Journal of Cleaner Production*, 356, 131889. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131889>
- Zhang, S., Li, Y., Chen, X., Jiang, X., Li, J., Yang, L., Yin, X., & Zhang, X. 2022b. Occurrence and distribution of microplastics in organic fertilizers in China. *Science of The Total Environment*, 844, 157061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157061>