

DOI: 10.32864/polymmattech-2025-11-3-80-87

УДК 678.742.2:[544.475:582.28]:546.47

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО ЦИНКА НА ТЕРМООКИСЛЕНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНА, ИНГИБИРОВАННОГО ЭКСТРАКТАМИ ТРУТОВОГО ГРИБА

Е. В. ВОРОБЬЕВА⁺

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, ул. Советская, 104, 246028, г. Гомель, Беларусь

*Цель работы — исследовать влияние дисперсного цинка на термоокислительную стойкость полиэтилена, содержащего экстракты трутового гриба *Fomitopsis pinicola* (трутовик окаймлённый).*

Состав экстрактов определяли методом газохромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Установлено, что все экстракты содержат высокие концентрации азотсодержащих ароматических соединений — фрагментов меланинов; ацетоновый и этилацетатный экстракты дополнительно обогащены терпеноидами, а этанольный экстракт характеризуется повышенным содержанием карбоновых кислот. В условиях раствора ионы Zn^{2+} взаимодействуют с компонентами ацетонового и этилацетатного экстрактов, что сопровождается батохромными сдвигами в УФ-спектрах (22 нм и 30 нм соответственно); для этанольного экстракта такие изменения минимальны.

*Полиэтиленовые плёнки изготавливали методом термопрессования. Окисление плёнок проводили при 150 °С. Степень окисления оценивали по интенсивности полосы поглощения 1720 cm^{-1} в ИК-спектрах, соответствующей колебаниям карбонильных групп, а окислительную стойкость — по продолжительности индукционного периода окисления (ИПО). Установлено, что этилацетатный и ацетоновый экстракты *F. pinicola* проявляют выраженную антиоксидантную активность в составе полиэтиленовых плёнок: ИПО увеличивается соответственно до 32 ч и 60 ч. При этом использование экстрактов гриба в качестве антиоксидантов не устраняет каталитическое влияние ионов металлов на процесс окисления. Добавление 1% Zn снижает продолжительность ИПО примерно в 1,5 раза как для немодифицированных плёнок, так и для плёнок, содержащих экстракты. В образцах с этанольным экстрактом *F. pinicola* добавление 1% Zn приводит к ещё более выраженному сокращению ИПО (в 1,75 раза), что можно объяснить высоким содержанием карбоновых кислот в составе экстракта. Эти соединения катализируют процессы окисления полиэтилена и способствуют переходу цинка в ионную форму, усиливая его прооксидантное действие.*

Ключевые слова: полиэтилен, индукционный период окисления, *Fomitopsis pinicola*, метаболиты, катализ окисления, батохромный сдвиг, цинк, антиоксидантная активность, карбоновые кислоты.

⁺Автор для переписки. E-mail: evorobyova@gsu.by

Для цитирования:

Воробьева Е. В. Влияние дисперсного цинка на термоокисление полиэтилена, ингибированного экстрактами трутового гриба // Полимерные материалы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 80–87. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-3-80-87>

⁺Athor for correspondence. E-mail: evorobyova@gsu.by

For citation:

Vorobyova E. V. Vliyaniye dispersnogo tsinka na termookisleniye polietilena, ingibirovannogo ekstraktami trutovogo griba [The effect of dispersed zinc on the thermal oxidation of polyethylene inhibited by bracket fungus extracts]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2025, vol. 11, no. 3, pp. 80–87. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-3-80-87>

THE EFFECT OF DISPERSED ZINC ON THE THERMAL OXIDATION OF POLYETHYLENE INHIBITED BY BRACKET FUNGUS EXTRACTS

E. V. VOROBYOVA⁺

Francisk Skorina Gomel State University, Sovetskaya St., 104, 246028, Gomel, Belarus

*The aim of this study is to investigate the effect of dispersed zinc on the thermo-oxidative stability of polyethylene containing extracts of the polypore fungus *Fomitopsis pinicola*.*

The composition of the extracts was determined by gas-chromatography–mass-spectrometry. It has been established that all extracts contain high concentrations of nitrogen-containing aromatic compounds—melanin fragments. The acetone and ethyl acetate extracts are additionally enriched with terpenoids, while the ethanol extract is characterized by an elevated content of carboxylic acids. In solution, Zn²⁺ ions interacted with components of the acetone and ethyl acetate extracts, resulting in bathochromic shifts in the UV spectra (22 and 30 nm, respectively), whereas the ethanol extract showed minimal changes.

*Polyethylene films were prepared by thermal pressing. Oxidation was conducted at 150 °C. The degree of oxidation was assessed by the intensity of the absorption band at 1720 cm⁻¹ in the IR spectra, corresponding to the vibrations of carbonyl groups, while oxidative stability was evaluated by the duration of the oxidation induction period (OIP). It was found that the ethyl acetate and acetone extracts of *F. pinicola* exhibit pronounced antioxidant activity in polyethylene films, increasing the OIP to 32 h and 60 h, respectively. However, the use of fungal extracts as antioxidants does not eliminate the catalytic effect of metal ions on the oxidation process. The addition of 1% Zn reduces the OIP by approximately 1.5 times both in unmodified films and in films containing extracts. In samples with the ethanol extract of *F. pinicola*, the addition of 1% Zn leads to an even more pronounced reduction in OIP (by a factor of 1.75), which can be attributed to the high content of carboxylic acids in the extract. These compounds catalyze polyethylene oxidation and promote the transition of zinc into its ionic form, thereby enhancing its pro-oxidant effect.*

Keywords: polyethylene, oxidation induction period, *Fomitopsis pinicola*, metabolites, oxidation catalysis, bathochromic shift, zinc, antioxidant activity, carboxylic acids.

Поступила в редакцию 21.08.2025

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)

Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com

Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Литература

1. Воробьева Е. В. Антиокислительные свойства экстрактов трутовика окаймленного *Fomitopsis pinicola* в составе полиэтиленовых пленок // Химия растительного сырья. 2023. № 2. С. 143–151. doi: 10.14258/jcrpm.20230211375
2. Song J., Li X., Zhang S., Li Y., Chen L., Wang Z., Cheng G., Yu Q., Han Y. Ginkgo biloba leaf extract: A natural and eco-friendly stabilizer for enhancing the thermal and oxidative stability of polyethylene // Journal of Polymer Research, 2024, vol. 31, no. 11. doi: 10.1007/s10965-024-04191-1
3. Agustin-Salazar S., Gamez-Meza N., Medina-Juárez L. Á., Malinconico M., Cerruti P. Stabilization of polylactic acid and polyethylene with nutshell extract: Efficiency assessment and economic evaluation // ACS sustainable chemistry & engineering, 2017, vol. 5, no. 6, pp. 4607–4618. doi: 10.1021/acssuschemeng.6b03124
4. Tatraaljai D., Tang Yun, Pregi E., Vági E., Pukánszky B. Pomegranate extract for the processing stabilization of polyethylene // Journal of Vinyl and Additive Technology, 2022, vol. 28, is. 2, pp. 321–330. doi: 10.1002/vnl.21874
5. Bishop K. S. Characterisation of extracts and anti-cancer activities of *Fomitopsis pinicola* // Nutrients, 2020, vol. 12, is. 3. doi: 10.3390/nu12030609
6. Курченко В. П., Сушинская Н. В., Майорова К. И., Бутько Р. П. Сравнительный анализ состава биологически активных веществ экстрактов плодовых тел дереворазрушающих грибов // Лекарственное растениеводство: от опыта прошлого к современным технологиям : материалы девятой Международной научно-практической конференции. Полтава, 2021. С. 120–123.

7. Merdivan S., Lindequist U. Ergosterol peroxide: a mushroom-derived compound with promising biological activities – a review // *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2017, vol. 19, is. 2, pp. 93–105. doi: 10.1615/IntJMedMushrooms.v19.i2.10
8. Курченко В. П., Сушинская Н. В., Майорова К. И., Ермошина А. А., Киселева И. С. Биологически активные вещества ряда афиллофороидных грибов // *Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности : материалы VII Международной научно-практической конференции (20–24 октября 2020 г.)* : Т. II. Ставрополь ; Пятигорск, 2020. С. 9–14.
9. Пучкова Т. А., Трухоновец В. В., Иконникова Н. В. Содержание меланиновых пигментов в мицелии и плодовых телах гриба *ganoderma lucidum* (curt.: fr.) p. karst в зависимости от способа культивирования // *Биотехнологии микроорганизмов : материалы международной научно-практической конференции, г. Минск, 27–29 ноября 2019 г.* Минск : Эксперспектива, 2019. С. 154–158.
10. Белый В. А., Егоренков Н. И., Плескачевский Ю. М. Явление растворения металлов расплавами полимерных покрытий // *Высокомолекулярные соединения. Серия Б.* 1970. Т. XII, № 9. С. 643–644.
11. Lin D. G., Vorob'eva E. V. Transfer of Metal Compounds at Contact Oxidation of Polyethylene on Copper // *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2002, vol. 75, no. 5, pp. 818–821.
12. Лин Д. Г., Воробьева Е. В. Влияние антиоксидантов на окисление полиэтилена, катализируемое медью // *Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология.* 2005. Т. 48. № 12. С. 61–66.
13. Allakhverdieva K. V. Physicomechanical properties of composit materials on basis of copper and polyolefins // *Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология.* 2020. Т. 63, № 10. С. 71–77. doi: 10.6060/ivkkt.20206310.6251
14. Луканина Ю. К., Колесникова Н. Н., Попов А. А., Хватов А. В. Металлосодержащие добавки для оксо-разложения полиэтилена // *Химическая физика.* 2019. Т. 38, № 4. С. 69–73. doi: 10.1134/S0207401X19040095
15. Харьковская Е. М., Менделеев Д. И., Герасин В. А. Фотоокислительная деструкция композитов на основе полиэтилена и монтмориллонитов, модифицированных солями переходных металлов // *Высокомолекулярные соединения. Серия Б.* 2019. Т. 61, № 4. С. 303–317. doi: 10.1134/S2308113919040065
16. Lin D. G., Vorob'eva E. V. Performance of a Phenolic Antioxidant Introduced by Different Procedures into Polyethylene Containing Dispersed Fillers // *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2013, vol. 86, pp. 82–86. doi: 10.1134/S107042721301014X
17. Silva-Bailão M. G., da Silva K. L. P., Dos Anjos L. R. B., de Sousa Lima P., de Melo Teixeira M., de Almeida Soares C. M., Bailão A. M. Mechanisms of copper and zinc homeostasis in pathogenic black fungi // *Fungal biology*, 2018, vol. 122, is. 6, pp. 526–537. doi: 10.1016/j.funbio.2017.12.002
18. Kim B. E., Nevitt T., Thiele D. J. Mechanisms for copper acquisition, distribution and regulation // *Nature chemical biology*, 2008, vol. 4, no. 3, pp. 176–185. doi: 10.1038/nchembio.72
19. Szczycka M. S., Zhu Z., Silar P., Thiele D. J. Saccharomyces cerevisiae mutants altered in vacuole function are defective in copper detoxification and iron-responsive gene transcription // *Yeast*, 1997, vol. 13, no. 15, pp. 1423–1435. doi: 10.1002/(SICI)1097-0061(199712)13:15%3C1423::AID-YEA190%3E3.0.CO;2-C
20. Efrementko E., Stepanov N., Senko O., Aslanli A., Maslova O., Lyagin I. Using Fungi in Artificial Microbial Consortia to Solve Bioremediation Problems // *Microorganisms*, 2024, vol. 12, is. 3. doi: 10.3390/microorganisms12030470
21. Isildak O., Turkekul I., Elmastas M., Aboul-Enein H. Y. Bioaccumulation of heavy metals in some wild-grown edible mushrooms // *Analytical Letters*, 2007, vol. 40, is. 6, pp. 1099–1116. doi: 10.1080/00032710701297042
22. CRC Handbook of Chemistry and Physics / ed. D. R. Lead. 88th edition. Boca Raton : CRC Press : Taylor & Francis, 2007, pp. 3–230.
23. García-Zapateiro L. A., Franco J. M., Valencia C., Delgado M. A., Gallegos C. Viscous, thermal and tribological characterization of oleic and ricinoleic acids-derived estolides and their blends with vegetable oils // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2013, vol. 19, is. 4, pp. 1289–1298. doi: 10.1016/j.jiec.2012.12.030
24. Плисс Е. М., Денисов Е. М. Кинетика гомолитических жидкофазных реакций : учебное пособие. Ярославль : ЯрГУ, 2015. 310 с.
25. Татаренко Л. А., Шляпников Ю. А. Процессы, протекающие в периоде индукции ингибированного окисления полиэтилена // *Высокомолекулярные соединения. Серия А.* 1990. Т. 32, № 12. С. 2318–2323.

References

1. Vorobyova E. V. Antioksilitel'nye svoystva ekstraktov trutovika okaymlennogo Fomitopsis pinicola v sostave polietilenovykh plenok [Antioxidant properties of Fomitopsis pinicola extracts in polyethylene films]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant materials], 2023, no. 2, pp. 143–151. doi: 10.14258/jcpm.20230211375
2. Song J., Li X., Zhang S., Li Y., Chen L., Wang Z., Cheng G., Yu Q., Han Y. Ginkgo biloba leaf extract: A natural and eco-friendly stabilizer for enhancing the thermal and oxidative stability of polyethylene. *Journal of Polymer Research*, 2024, vol. 31, no. 11. doi: 10.1007/s10965-024-04191-1
3. Agustin-Salazar S., Gamez-Meza N., Medina-Juárez L. Á., Malinconico M., Cerruti P. Stabilization of polylactic acid and polyethylene with nutshell extract: Efficiency assessment and economic evaluation. *ACS sustainable chemistry & engineering*, 2017, vol. 5, no. 6, pp. 4607–4618. doi: 10.1021/acscuschemeng.6b03124
4. Tatraaljai D., Tang Yun, Pregi E., Vági E., Pukánszky B. Pomegranate extract for the processing stabilization of polyethylene. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 2022, vol. 28, is. 2, pp. 321–330. doi: 10.1002/vnl.21874
5. Bishop K. S. Characterisation of extracts and anti-cancer activities of Fomitopsis pinicola. *Nutrients*, 2020, vol. 12, is. 3. doi: 10.3390/nu12030609
6. Kurchenko V. P., Sushinskaya N. V., Mayorova K. I., But'ko R. P. Sravnitel'nyy analiz sostava biologicheskii aktivnykh veshchestv ekstraktov plodovykh tel derevorazrushayushchikh gribov [Comparative Analysis of the Composition of Biologically Active Substances in Extracts of Wood-Destroying Fungi Fruiting Bodies]. *Materialy devyatoy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Lekarstvennoe rastenievodstvo: ot opyta proshlogo k sovremennym tekhnologiyam»* [Proceedings of the Ninth International Scientific and Practical Conference “Medicinal Plant Growing: From Past Experience to Modern Technologies”]. Poltava, 2021, pp. 120–123.
7. Merdivan S., Lindequist U. Ergosterol peroxide: a mushroom-derived compound with promising biological activities – a review. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2017, vol. 19, is. 2, pp. 93–105. doi: 10.1615/IntJMedMushrooms.v19.i2.10
8. Kurchenko V. P., Sushinskaya N. V., Mayorova K. I., Ermoshina A. A., Kiseleva I. S. Biologicheski aktivnye veshchestva ryada afilloroidnykh gribov [Biologically active substances of a number of aphylloroid fungi]. *Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye dostizheniya biotekhnologii. Tekhnika, tekhnologii i upakovka dlya realizatsii innovatsionnykh projektov na predpriyatiyakh pishchevoy i biotekhnologicheskoy promyshlennosti»* [Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference “Modern Achievements in Biotechnology. Equipment, Technologies, and Packaging for the Implementation of Innovative Projects at Food and Biotechnology Enterprises”]. Stavropol' ; Pyatigorsk, 2020, vol. II, pp. 9–14.
9. Puchkova T. A., Trukhonovets V. V., Ikonnikova N. V. Soderzhanie melaninovykh pigmentov v mitselii i plodovykh telakh griba *ganoderma lucidum* (curt.: fr.) p. karst v zavisimosti ot sposoba kultivirovaniya [The content of melanin pigments in the mycelium and fruiting bodies of the fungus ganoderma lucidum (curt.: fr.) p. karst depending on the cultivation method]. *Materialy mezhdunarodnoy*

- nauchno-prakticheskoy konferentsii «Biotekhnologii mikroorganizmov»* [Proceedings of the international scientific and practical conference “Biotechnologies of microorganisms”]. Minsk : Ekoperspektiva Publ., 2019, pp. 154–158.
10. Belyy V. A., Egorenkov N. I., Pleskachevskiy Yu. M. Yavlenie rastvoreniya metallov rasplavami polimernykh pokrytiy [The phenomenon of dissolution of metals by melts of polymer coatings]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya B* [Polymer Science: Series B - Polymer Chemistry], 1970, vol. XII, no. 9, pp. 643–644.
 11. Lin D. G., Vorob'eva E. V. Transfer of Metal Compounds at Contact Oxidation of Polyethylene on Copper. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2002, vol. 75, no. 5, pp. 818–821.
 12. Lin D. G., Vorob'eva E. V. Vliyaniye antioksidantov na okislenie polietilena, kataliziruemoe med'yu [Effect of antioxidants on copper-catalyzed oxidation of polyethylene]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Proceedings of Universities. Series: Chemistry and Chemical Technology], 2005, vol. 48, no. 12, pp. 61–66.
 13. Allakhverdieva K. V. Physicochemical properties of composite materials on basis of copper and polyolefins. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Proceedings of Universities. Series: Chemistry and Chemical Technology], 2020, vol. 63, no. 10, pp. 71–77. doi: 10.6060/ivkkt.20206310.6251
 14. Lukanina Yu. K., Kolesnikova N. N., Popov A. A., Khvatov A. V. Metallosoderzhashchie dobavki dlya okso-razlozheniya polietilena [Metal-containing additives for oxo-decomposition of polyethylene]. *Khimicheskaya fizika* [Chemical Physics], 2019, vol. 38, no. 4, pp. 69–73. doi: 10.1134/S0207401X19040095
 15. Khar'kova E. M., Mendeleev D. I., Gerasin V. A. Fotookislitel'naya destruktziya kompozitov na osnove polietilena i montmorillonitov, modifitsirovannykh solyami perekhodnykh metallov [Photo-oxidative degradation of composites based on polyethylene and montmorillonites modified with transition metal salts]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya B* [Polymer Science: Series B - Polymer Chemistry], 2019, vol. 61, no. 4, pp. 303–317. doi: 10.1134/S2308113919040065
 16. Lin D. G., Vorob'eva E. V. Performance of a Phenolic Antioxidant Introduced by Different Procedures into Polyethylene Containing Dispersed Fillers. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2013, vol. 86, pp. 82–86. doi: 10.1134/S107042721301014X
 17. Silva-Bailão M. G., da Silva K. L. P., Dos Anjos L. R. B., de Sousa Lima P., de Melo Teixeira M., de Almeida Soares C. M., Bailão A. M. Mechanisms of copper and zinc homeostasis in pathogenic black fungi. *Fungal biology*, 2018, vol. 122, is. 6, pp. 526–537. doi: 10.1016/j.funbio.2017.12.002
 18. Kim B. E., Nevitt T., Thiele D. J. Mechanisms for copper acquisition, distribution and regulation. *Nature chemical biology*, 2008, vol. 4, no. 3, pp. 176–185. doi: 10.1038/nchembio.72
 19. Szczyпка M. S., Zhu Z., Silar P., Thiele D. J. *Saccharomyces cerevisiae* mutants altered in vacuole function are defective in copper detoxification and iron-responsive gene transcription. *Yeast*, 1997, vol. 13, no. 15, pp. 1423–1435. doi: 10.1002/(SICI)1097-0061(199712)13:15%3C1423::AID-YEA190%3E3.0.CO;2-C
 20. Efremenko E., Stepanov N., Senko O., Aslanli A., Maslova O., Lyagin I. Using Fungi in Artificial Microbial Consortia to Solve Bioremediation Problems. *Microorganisms*, 2024, vol. 12, is. 3. doi: 10.3390/microorganisms12030470
 21. Isildak O., Turkekul I., Elmastas M., Aboul-Enein H. Y. Bioaccumulation of heavy metals in some wild-grown edible mushrooms. *Analytical Letters*, 2007, vol. 40, is. 6, pp. 1099–1116. doi: 10.1080/00032710701297042
 22. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Ed. D. R. Lead. 88th edition. Boca Raton : CRC Press : Taylor & Francis, 2007, pp. 3–230.
 23. García-Zapateiro L. A., Franco J. M., Valencia C., Delgado M. A., Gallegos C. Viscous, thermal and tribological characterization of oleic and ricinoleic acids-derived estolides and their blends with vegetable oils. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2013, vol. 19, is. 4, pp. 1289–1298. doi: 10.1016/j.jiec.2012.12.030
 24. Pliss E. M., Denisov E. M. *Kinetika gomoliticheskikh zhidkofaznykh reaktsiy* [Kinetics of homolytic liquid-phase reactions]. Yaroslavl' : YarGU Publ., 2015. 310 p.
 25. Tatarenko L. A., Shlyapnikov Yu. A. Protsessy, protekayushchie v periode induktsii ingibirovannogo okisleniya polietilena [Processes occurring during the induction period of inhibited oxidation of polyethylene]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya A* [Polymer Science: Series A - Polymer Physics], 1990, vol. 32, no. 12, pp. 2318–2323.
-